

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Приладобудівний факультет

Кафедра приладобудування

«На правах рукопису»
УДК 681.122

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
Киричук Ю.В.
(підпис)

“ ” 2019 р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності

на тему: Визначення об'єму та об'ємної витрати водяної пари

Виконав (-ла): студент (-ка) 2 курсу, групи ПІ-81мп
(шифр групи)

Степанюк Антон Вячеславович
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник д.т.н., професор, Коробко І. В.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант стартап к.е.н., доцент, Бояринова К.О.
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Консультант _____
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент доц. Шевченко В. В.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2019 року

					МД ПІ4.1.22.000.00	Лист
						1
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

**Приладобудівний факультет
Кафедра приладобудування**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ М. Д. Гераїмчук
(підпис) (ініціали, прізвище)

« ____ » _____ 2019 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Степанюку Антону Вячеславовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації **Визначення об'єму та об'ємної витрати водяної пари**
науковий керівник магістерської дисертації

Коробко Іван Васильович, д.т.н., професор

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « ____ » _____ 2019 р. № _____

2. Строк подання студентом дисертації 06 грудня 2019 р.

3. Перелік завдань, які потрібно розробити Вступ. Огляд літературних джерел за темою, вибір і обґрунтування напрямів та методів дослідження. Розробка математичної моделі приладу визначення об'єму та об'ємної витрати водяної пари. Визначення метрологічних характеристик приладу. Моделювання роботи приладу приладу визначення об'єму та об'ємної витрати водяної пари. Розробка програмного забезпечення. Аналіз і узагальнення результатів досліджень.

4. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: Схеми 1 арк. ф. А1. Вихровий витратомір. Складальний кресленник, 1 арк. ф. А1. Робочі креслення деталей, 2 арк. ф. А1. Графічні матеріали, 3 арк. ф. А1. Презентаційний плакат 1 арк. ф. А1.

5. Орієнтовний перелік публікацій 1 доповідь на науково-технічній конференції, 1 стаття у фаховому виданні

					МД П/41.22.000.00	Лист
						2
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

6. Консультант розділу дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Розробка стартап-проекту</i>	<i>Бояринова К.О., к.е.н., доцент</i>		

7. Дата видачі завдання 30 жовтня 2019 р.

Календарний план

№ з/п		Строк виконання етапів дисертації	Примітка
1		30.10.19 – 10.11.19	
2		08.11.19 – 16.11.19	
3		14.11.19 – 20.11.19	
4	Моделювання роботи приладу визначення об'єму та об'ємної витрати водяної пари	15.11.19 – 30.11.19	
5	Розробка програмного забезпечення	14.11.19 – 06.12.19	
6	Аналіз отриманих результатів	27.11.19 – 06.12.19	
7	Назва етапів виконання магістерської дисертації	20.11.19 – 05.12.19	
8	Огляд літератури за темою	06.12.19	
9	Розробка математичної моделі приладу визначення об'єму та об'ємної витрати водяної пари	09.12.19	
10	Визначення метрологічних характеристик приладу	10.12.19	
11	Представити МД на затвердження зав. кафедри	11.12.19	
12	Передача електронної версії МД до бібліотеки	17.12.19	
13	Представити МД до екзаменаційної комісії НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»	19.12.19	

Студент

(підпис)

А. В. Ступанюк
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

І. В. Коробко
(ініціали, прізвище)

					МД П/4 1.22.000.00	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		3

АНОТАЦІЯ

Магістерська дисертація на тему «Визначення об'єму та об'ємної витрати водяної пари». Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків по роботі та додатків. Загальний об'єм дисертації складає 88 сторінок, 38 рисунків та 33 таблиці.

Насичена пара - це водяна пара, що знаходиться в термодинамічній рівновазі з водою, тиск і температура якого пов'язані між собою і розташовуються на кривій насичення, що визначає температуру кипіння води при даному тиску.

Перегрітою парою називають водяна пара, нагрітий до температури вище температури кипіння води при даному тиску, що отримується, наприклад, з насиченого пара шляхом додаткового нагрівання.

Вимірювання масової витрати і теплової енергії вологого насиченого пара пов'язано з наступними проблемами:

- 1) газова і рідка фази вологого насиченого пара рухаються з різною швидкістю і займають змінну еквівалентну площа поперечного перерізу трубопроводу;
- 2) щільність насиченого пара зростає в міру зростання його вологості, причому залежність щільності вологої пари від тиску при різного ступеня сухості неоднозначна;
- 3) питома ентальпія насиченої пари знижується в міру зростання його вологості;
- 4) визначення ступеня сухості вологого насиченої пари в потоці важко.

					МД П/4 1.22.000.00	Лист
						4
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

SUMMARY

Master's thesis on "Determining the volume and volumetric flow rate of water vapor." The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion on work and applications. The total volume of the dissertation is 88 pages, 38 figures and 33 tables.

Saturated steam is water vapor in thermodynamic equilibrium with water, the pressure and temperature of which are interconnected and located on the saturation curve, determines the boiling point of water at a given pressure.

Superheated steam is water vapor heated to a temperature above the boiling point of water at a given pressure, obtained, for example, from saturated steam by additional heating.

Measuring the mass flow rate and thermal energy of moist saturated steam is associated with the following problems:

1) the gas and liquid phases of wet saturated steam move at different speeds and occupy a variable equivalent cross-sectional area of the pipeline;

2) the density of saturated steam increases with increasing humidity, and the dependence of the density of wet steam on pressure at varying degrees of dryness is ambiguous;

3) the specific enthalpy of saturated steam decreases with increasing humidity;

4) determining the degree of dryness of saturated steam in the stream is difficult.

					МД П/4 1.22.000.00	Лист
						5
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

Зміст

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ВИИЗНАЧЕННЯ ОБ'ЄМУ ТА КІЛЬКОСТІ ВОДЯНОЇ ПАРИ.....	9
1.1 Аналіз середовища, фізичні та хімічні властивості водяної пари	9
1.2 Вимоги до засобів реєстрації водяної пари.....	12
1.3 Оцінювання умов вимірювання.....	16
1.4 Аналіз методів та засобів вимірювання витрати та кількості водяної пари	17
1.4.1 Типи пристроїв, що звужують.....	18
1.4.2 Ультразвукові витратоміри.....	22
1.4.3 Тахометричні витратоміри	24
1.5 Висновки до першого розділу	26
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РЕЄСТРАЦІЇ ВОДЯНОЇ ПАРИ.....	28
2.1 Розробка структурної та функціональної схем	29
2.2 Розроблення математичної моделі впливу водяної пари.....	32
2.3 Математична модель засобу вимірювання	36
2.4 Математичне моделювання функціонування засобу вимірювання об'єму та кількості водяної пари.....	58
2.5 Висновки до розділу 2	63
РОЗДІЛ 3. ВІРТУАЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ	65
3.1 Методи та засоби моделювання взаємодії потоків рідин і газів з вимірювальним перетворювачем	65
3.2 Застосування 3D технологій до оцінювання роботи виміру перетворення витрати	70

					МД ПІ41.22.000.00	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		6

3.3 Висновки до розділу 3	72
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ «ПРИЛАД ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ОБ'ЄМУ ТА ОБ'ЄМНОЇ ВИТРАТИ ВОДЯНОЇ ПАРИ».....	73
4.1 Опис ідеї проекту	73
4.2 Технологічний аудит ідеї проекту	76
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту	77
4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту	85
4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	87
4.6 Висновки до розділу 4	90
ВИСНОВКИ	92
СПИСОК ПОСИЛАНЬ.....	93

					МД ПІ41.22.000.00	Лист
						7
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

ВСТУП

З кожним роком питання обліку та контролю споживання теплової енергії та інших ресурсів стає все більш актуальним для промисловості України. Зростання тарифів на паливо і жорсткість природоохоронного законодавства наштовхують виробників до необхідності скорочувати споживання ресурсів, а для цього, перш за все необхідно чітко знати, який реальний обсяг їх споживання на підприємстві в цілому і на окремих виробничих ділянках.[1] В усіх галузях промисловості для оперативного контролю, регулювання і керування технологічними процесами необхідно вести постійний облік витрати газоподібних середовищ (пальних газів, кисню, повітря й ін.), рідин (води, рідкого палива, рідких хімічних речовин і ін.), енергетичної і теплофікаційної пари. Точний вимір витрати цих середовищ дозволяє визначати й порівнювати економічну ефективність роботи однотипних агрегатів.

Мета: Дослідження методів та засобів виміру об'єму та кількості водяної пари.

Завдання: Покращити метод виміру об'ємної витрати водяної пари.

Об'єктом дослідження є процес виміру витрати водяної пари.

Предметом дослідження є вихровий витратомір пари.

Метою є розробка та підвищення точності вихрового витратоміра пари.

					МД П/4 1.22.000.00	Лист
						8
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ВИИЗНАЧЕННЯ ОБ'ЄМУ ТА КІЛЬКОСТІ ВОДЯНОЇ ПАРИ

При вимірах, зв'язаних з урахуванням кількості речовини необхідно розрізняти поняття витрати і кількість речовини. Витрата є кількість речовини, що протікає через перетин трубопроводу (чи каналу іншого перетину) в одиницю часу, тобто миттєве значення витрати. Відповідно до обраних одиниць може робитися вимір або масової витрати (кг/с, кг/год, т/год), або об'ємної витрати (м³/с, м³/год, л/с). Кількість — це загальний обсяг чи маса речовини, що протікає через трубопровід за конкретний інтервал часу (тобто за весь проміжок часу) за годину, добу, місяць, рік і т.д. Вимірювальний прилад, що служить для виміру витрати речовини, називається витратоміром, а прилад для виміру кількості речовини — лічильником кількості(лічильником).[2]

1.1 Аналіз середовища, фізичні та хімічні властивості водяної пари

Вода - однорідне хімічна сполука, молекула якої складається з трьох атомів, що належать двом хімічним елементам - водню і кисню. Вода є прекрасним розчинником, тому всі природні води є розчинами, що містять різноманітні речовини - солі, газу.

Вода і водяна пара як робоче тіло і теплоносії отримали найбільше застосування в промисловості. Це пояснюється широким поширенням води в природі, а також тим, що вода і водяна пара мають відносно хорошими термодинамічними характеристиками.

Так, теплоємність води вища за теплоємність багатьох інших рідин і твердих тіл і в межах від 0 до 100 °С при атмосферному тиску вона дорівнює 4,19 кДж / (кг·К), або 4,19 кДж / (кг °С). Теплопровідність води Вт / (м·К), на відміну від теплопровідності інших рідких і твердих тіл з підвищенням температури до 120 ... 140 °С збільшується, а при подальшому підвищенні температури - зменшується.

					МД П/4.1.22.000.00	Лист
						9
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

Щільність води змінюється з температурою. Найбільшою щільністю вода володіє при 4 °С.[2]

Процес переходу води з рідкого стану в газоподібний (пар) називається випаровуванням, а з газоподібного в рідкий - конденсацією. Перетворення води на пару може протікати як при випаровуванні, так і при кипінні. Випаровування - це процес утворення пари, що відбувається з поверхні рідини при будь-якій температурі. При випаровуванні молекули води відриваються від поверхні рідини, маючи відносно великі швидкості. Внаслідок цього середня швидкість руху молекул в масі води зменшується і температура рідини знижується.

При підведенні теплоти в процесі нагрівання температура рідини та інтенсивність її випаровування збільшуються, і за певних температур і тиску рідина закипає.

Кипіння - це процес інтенсивного пароутворення у всій масі рідини, який отримує розвиток при її нагріванні, тобто підводі до системи певної кількості теплоти. При атмосферному тиску температура кипіння становить приблизно 100 °С. З підвищенням тиску температура кипіння зростає і, навпаки, в умовах зниженого тиску (високо в горах) температура кипіння знижується.

Кількість теплоти, яку необхідно повідомити воді для перетворення її з рідкого стану в пароподібний при температурі кипіння, називається прихованою теплотою паротворення r . З підвищенням тиску прихована теплота пароутворення зменшується (табл. 1.1).[2]

Раніше було відзначено, що конденсація - це процес перетворення пари в рідину, звану конденсатом.

Кількість теплоти, що виділяється при конденсації 1 кг пара і чисельно рівне $г$, називається теплотою конденсації пари.

					МД П/4.1.22.000.00	Лист
						10
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

Властивості води та сухого насиченої пари

Абсолютний тиск		Температура кипіння, °C	Щільність пара, кг / м ³	Питом а обсяг пара, м ³ / кг	Ентальпія. кДж / кг		Прихована теплота пароутворення, кДж / кг
МПа	кгс/см ²				киплячо ї води	пар а	
0,02		0,2	59,67	0,129	7,789		250,7
0,04		0,4	75,42	0,246	4,066		316,7
0,06		0,6	85,45	0,360	2,782		359,1
0,08		0,8	92,99	0,471	2,125		390,6
0,10		1,0	99,09	0,580	1,725		416,6
0,12		1,2	104,5	0,687	1,455		438,5
0,17		1,7	115,00	0,956	1,044		483,0
0,20		2,0	119,62	1,109	0,902		499,8
0,50		5,0	151,11	2,620	0,382		554,8
0,90		9,0	174,33	4,456	0,219		741,3
1,40		14,0	194,13	6,974	0,143		828,7
2,00		20,0	211,38	9,852	0,102		906,8
4,00		40,0	249,18	19,700	0,051		1085,3
5,00		50,0	262,70	25,000	0,040		1149,3
6,00		60,0	274,29	30,300	0,033		1208,4
7,00		70,0	284,48	35,714	0,028		1266,6
8,00		80,0	293,62	41,667	0,024		1311,1
9,00		90,0	301,92	47,619	0,021		1357,1
10,00		100,0	309,53	55,556	0,018		1401,1

Пар, який має максимальну щільність при конкретному тиску, називається насиченим. Насичена водяна пара може бути вологим і сухим. Насиченим є пар, отриманий при кипінні води і має з нею однакову температуру при тому ж тиску. В обсязі вологого насиченого пара у вигляді дрібних крапельок знаходиться вода, яка утворюється при розриві оболонок парових бульбашок. Сухий насичений пар, маючи температуру насичення, вологи не містить.[3]

Пар, температура якого для певного тиску перевищує температуру насиченої пари, називається перегрітою. Різниця температур перегрітого і сухого насиченої пари при тому ж тиску називається перегрівом пара.

Важливою характеристикою вологого насиченої водяної пари є ступінь його сухості X яка визначає частку пара в пароводяної суміші. Відповідно Y - частка рідини, тобто

$$X = 1 - Y. \quad (1.1)$$

Відділення крапель води від пара називається сепарацією, а пристрої, призначені для цієї мети, - сепараторами.

Ентальпія вологого насиченого пара Δh_x , кДж / кг, виражається через ступінь сухості в такий спосіб:

$$\Delta h_x = \Delta h' + r_x, \quad (1.2)$$

де $\Delta h'$ - ентальпія води при температурі кипіння, кДж / кг; r - прихована теплота пароутворення, кДж / кг.

Ентальпія перегрітої пари $\Delta h_{n.n}$, кДж / кг, дорівнює

$$\Delta h_{n.n} = \Delta h'' + c_n(t_{n.n} - t_{n.n}), \quad (1.3)$$

де $\Delta h''$ - ентальпія сухої насиченої пари, кДж / кг; c_n - питома теплоємність пара, кДж / (кг·°C); $t_{n.n}$, $t_{n.n}$ - температура перегрітої і насиченої пари, °C.

1.2 Вимоги до засобів реєстрації водяної пари

Для комерційного розрахунку між постачальником і споживачем використовуються засоби вимірювання, які необхідно привести у відповідність з нормами точності.[3]

Звичайне змішання смислового змісту понять "витрата" і "кількість" пов'язане з фізичним сприйняттям вимірюваних на практиці величин. Так, витрата - це кількість речовини, диференційоване за часом ($Q = m / t$), а кількість речовини, інтегрований з часу витрата ($W = m$). У зв'язку з цим стає правомірним і термінологічне узагальнення поняття "Витратовимірювальне пристрій", смисловий зміст якого відображено в функціональній ролі вимірювального перетворювача, здатного передавати вироблену вимірювальну інформацію, як про

					МД П/4 1.22.000.00	Лист
						12
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

витрату контрольованого потоку, так і про кількість яка протікає при цьому енергоносящей середовища.[2]

При виборі системи вимірювання витрати доцільно керуватися основними критеріями:

- вимірюване середовище;
- діапазон вимірювання витрати;
- діапазон вимірювання тиску;
- діапазон вимірювання температури;
- похибка вимірювання (наявність методики виконання вимірювань);
- середній термін служби приладів обліку;
- ціна приладів;
- вартість проектних і монтажних робіт;
- взривозащиченість СІ;
- можливість підключення СІ в автоматизовану інформаційно-вимірювальну систему;
- наявність автономного електроживлення, обчислювача;
- періодичність повірки;
- наявність державного допуску до експлуатації.

Одним із шляхів підвищення точності вимірювання витрати та кількості енергоносящих середовищ є експериментальні і теоретичні дослідження по визначенню довжин ділянок стабілізації потоку з метою знаходження місця установки перетворювача витрати. У правилах обліку енергоносящих середовищ жорсткі вимоги пред'являються до довжин прямих ділянок. Скорочення їх викликає додаткову похибку вимірювання витрати, що досягає 15%. У тому випадку, якщо в документації відсутні вимоги до довжин прямих ділянок, то похибка, що викликається довжиною вимірювальної ділянки менше 40 D, визначається при перевірці приладу спільно з тими опорами, з якими він знаходиться в експлуатації. Завищення довжини вимірювальної ділянки збільшує металоемність (особливо при великих діаметрах) трубопроводів

					МД П/41.22.000.00	Лист
						13
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

Витратовимірювальне систем і виробничих площ. Необхідне проведення експериментальних досліджень по визначенню мінімальних довжин прямих ділянок після найбільш поширених типів місцевих опорів, а також закономірності вимірювання додаткової похибки, при скороченні в два і три рази, для цих цілей треба створити умови, близькі до натурних.[4]

Найбільш проблемним на підприємствах стає облік насиченої пари. При укладанні договорів на поставку насиченої пари споживачі не звертали увагу на параметри температури і тиску, зазначені в документі, і в підсумку, при проведенні перерахунку звужують пристроїв, що входять до складу засобів вимірювань витрати методом змінного перепаду тиску, контрольована середовище по фізичним властивостям виявилася двухфазной (газожидкостной), в якій ступінь сухості нижче 70%. Підприємства платять не тільки за придбаний пар, а в цілому і за конденсат. Численними причинами перетворення насиченої пари в двофазну середу є: пошкодження або відсутність на ділянках трубопроводів теплової ізоляції, використання трубопроводу діаметром більше, ніж потрібно, зниження контрольованих параметрів температури або тиску. На паропроводах відсутні засоби вимірювання вологості і щільності пара, які б контролювали середу і повідомляли постачальнику про стан пара. Наприклад, паропровід від УТЕЦ-1 до споживачів ЗБВ-2, ККД-1 і т.д. вимагає реконструкції, так як діаметр умовного проходу трубопроводу становить $D = 500$ мм, а необхідний діаметр за розрахунками $D = 250$ мм. Тоді втрати будуть мінімальними, і будуть виконані енергозберігаючі заходи. Або необхідно вводити в дію свої котельні.

Для того, щоб передати перепад тиску від звужено устрою кдіфманометру без спотворення при вимірюванні витрати водяної пари застосовують заповнені конденсатом імпульсні лінії, що з'єднують звуження потоку з дифманометром. Для того, щоб виключити вплив рівня і щільності конденсату в цих лініях на переданий перепад тиску, необхідно підтримувати рівень конденсату в обох лініях постійним і однаковим, а також забезпечувати рівність температур конденсату в обох лініях. Для забезпечення сталості рівня конденсату в імпульсних лініях служать зрівняльні

					МД П/4 1.22.000.00	Лист
						14
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

конденсаційні судини. Рівність температур забезпечується прокладкою обох імпульсних ліній в безпосередній близькості одна до іншої.[3]

При цьому рідка фаза насиченого пара повинна бути у вигляді дрібних крапель або туману, без випадання конденсату. Ступінь сухості насиченого пара повинна бути не менше 70%.

Методик виконання вимірювань витрати двофазних середовищ (газорідинних потоків) із застосуванням пристроїв звуження потоку не існує. Використовувані засоби вимірювань витрати методом змінного перепаду тиску недостатньо обґрунтовані теоретично і перевірені експериментально для вимірювання двофазних середовищ. Аналіз показує, що в разі двофазного потоку виникають труднощі при спробі отримати надійні результати з досить високою точністю. Ці труднощі, очевидно, заключаються в наступному: в однофазному потоці кордону течії визначаються розмірами каналу, в двофазному - також розмірами каналу і розподілом фаз. У свою чергу, розподіл фаз змінюється в залежності від швидкості потоку, фізичних властивостей компонента, якості внутрішньої поверхні і форми трубопроводу. Різне поєднання розподілів фаз становить сукупність режимів течії. Різноманітність форм і невизначеність кордонів течії ускладнюють застосування рівнянь кількості руху і збереження енергії до двофазному потоку. З метою отримання теоретично обґрунтованої моделі необхідно мати дані про структуру потоку, механізми взаємодії газової і рідкої середовищ, локальних швидкостях і тисках.[3]

Відповідно до ГОСТ Р 8.563.1-97 "Вимірювання витрати та кількості рідин і газів методом перепаду тиску", пункт 6: "За умовами застосування стандартних пристроїв звуження потоку, контрольована середовище повинне бути однофазної і однорідної за своїми фізичними властивостями". При наявності в трубопроводі двофазного середовища "пара і води" вимірювання витрати теплоносія приладами змінного перепаду тиску з нормованою точністю не забезпечується.

Використовувана в ФГУ УЦСМС програма розрахунку "Флоуметрика" дозволяє проводити розрахунки звужують пристроїв з однофазними

					МД П/41.22.000.00	Лист
						15
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

контрольованими середовищами рідини, природного газу, перегрітої пари і насиченої пари зі ступенем сухості не менше 70%.[2]

Обґрунтованість звичайних методів в застосуванні до двофазним потокам і незначний обсяг експериментальних досліджень і матеріалу вимагають створення відповідних перевірочних установок, робочих еталонів і засобів вимірювань, а також методик виконання вимірювань.

1.3 Оцінювання умов вимірювання

При автоматизації в легкій і харчовій промисловості перед інженерами часто встає проблема вимірювання витрати пара. В силу ряду фізичних особливостей пароподібного стану речовин рішення задачі автоматичного вимірювання витрати є досить непростим.

Вимірювання теплової енергії та масової витрати вологого насиченого пара пов'язано з певними проблемами, викликаними будовою пароконденсатной суміші:

1) швидкість рідкої і газової фаз вологого насиченого різна, при цьому кожна з них займає в поперечному перерізі трубопроводу змінну еквівалентну площа;

2) у міру зростання вологості насиченого пара, зростає і його щільність, причому залежність між щільністю вологої пари і тиском неоднозначна і, в свою чергу, залежить від ступеня його сухості;

3) у міру того, як вологість насиченого зростає, знижується його питома ентальпія;

4) важко визначати ступінь сухості насиченої пари, що знаходиться в потоці.

У той же час, у вологого насиченої пари ступінь сухості може бути підвищена за допомогою двох відомих способів:

так званим «мятієм» (зниженням тиску, яке знижує температуру вологої пари) за допомогою редукційного клапана; відділенням рідкої фази за допомогою конденсатовідвідника і сепаратора пара.[5]

Обидва методи відомі вже більше 100 років. В роботі А.С. Ломшакова, виданої ще в 1913 році «Випробування парових котлів» йдеться про те, що поділ пара і води

					МД П/4 1.22.000.00	Лист
						16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

в паропроводі особливих труднощів не викликає. Навіть тоді при швидкості пара 15 м / с і вище практично всі водороздільники доводили вміст води в ньому до 1%, навіть якщо до проходження водоотделителя вологість була високою. А сепаратори нинішнього покоління можуть забезпечити осушення вологого пара практично на 100%.

1.4 Аналіз методів та засобів вимірювання витрати та кількості водяної пари

Витратоміри по перепаду тиску в пристроях, що звужують Одним з найбільш розповсюджених і широко застосовуваних безупинних методів виміру витрати в промисловості й у лабораторній практиці є метод змінного перепаду тиску. Він дозволяє вимірювати витрату будь-яких газових, рідких середовищ, а також пари в широкому діапазоні температур, тисків, вологості, складу. Метод виміру витрати по перепаду тиску заснований на залежності перепаду тиску в пристрої, що звужує, який установлено в трубопроводі (чи в каналі іншої форми), від витрати вимірюваного середовища.[3] При протіканні речовини через пристрій, що звужує, створюється перепад статичного тиску $\Delta P = P_1 - P_2$, що залежить від швидкості потоку i , отже, витрати середовища. Перепад тиску, створюваний пристроєм, що звужує, може служити мірою витрати речовини, що протікає в трубопроводі. Використання розглянутого методу виміру вимагає виконання наступних умов:

- характер руху потоку до і після пристрою, що звужує, повинний бути турбулентним і стаціонарним;
- потік повинний цілком заповнювати весь перетин трубопроводу;
- фазовий стан потоку не повинний змінюватися при його протіканні через пристрій, що звужує;
- у внутрішній порожнині трубопроводу до і після пристрою, що звужує, не утворюються опади й інші види забруднень;
- на поверхнях пристрою, що звужує, не утворюються відкладення, що змінюють його геометрію;

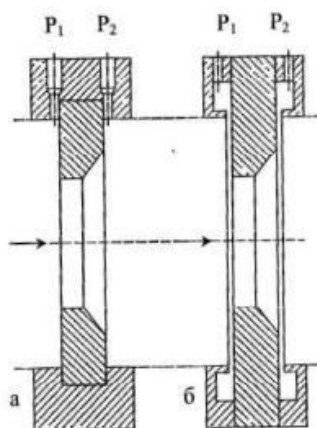
					МД П/4 1.22.000.00	Лист
						17
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

пара повинна бути перегрітою для виключення конденсації і наближення його властивостей до властивостей газоподібних середовищ.

У якості пристроїв, що звужують, для виміру витрати рідин, газів і пари широко застосовують стандартні діафрагми, сопла і сопла Вентурі. Стандартними називаються пристрої, що звужують, які виготовлені і встановлені у відповідності з керівними нормативними документами, розробленими державною метрологічною службою.[2]

1.4.1 Типи пристроїв, що звужують

На практиці в залежності від конкретних умов вимірів застосовуються різні типи пристроїв, що звужують. Найбільш розповсюдженим типом пристроїв, що звужують, для виміру витрати рідких, газоподібних середовищ і пари є стандартні діафрагми. Діафрагма для трубопроводів діаметром не менш 50 мм (рисунок 1.1) являє собою тонкий диск, затиснутий на фланцях, із круглими концентричними отворами. З боку входу отвір має гостру прямокутну кришку, а вихідна частина отвору розточується на конус під кутом 30-40°. Для великих діаметрів трубопроводів, більш 500 мм, діафрагми виготовляється без конічного розширення.[4]



*а – діафрагма з окремими отворами;
б – камерна діафрагма*

Рисунок 1.1 – Типи діафрагм

Добір тиску P_1 і P_2 здійснюється через окремі циліндричні отвори на фланцях діафрагми для трубопроводів діаметром від 450 до 1600 мм. а – діафрагма з окремими отворами; б – камерна діафрагма рис. 1.1

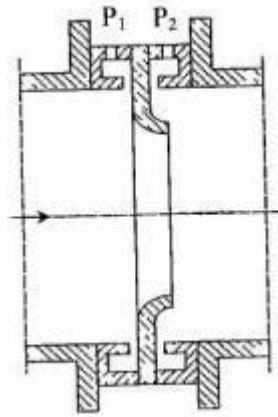


Рисунок 1.2 – Стандартне сопло

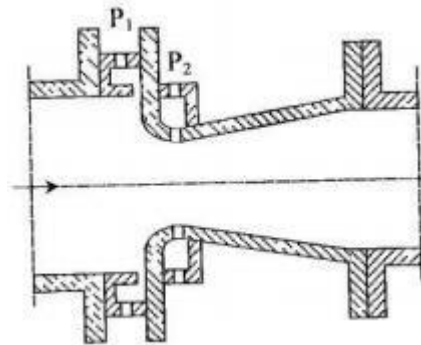


Рисунок 1.3 – Стандартне сопло Вентурі

Торцева частина сопла на вході потоку має циліндричне виточення для запобігання вихідної крайки циліндричної частини сопла від ушкодження. Сопла застосовуються при вимірі витрат газу, перегрітої пари високого тиску й агресивних рідин у трубопроводах діаметром від 50 до 200 мм. Сопло менш чуттєве до забруднення потоку і впливу корозії і дозволяє вимірювати великі витрати з меншою похибкою і вимагає менших довжин прямих ділянок трубопроводів при установці, чим діафрагма. рис 1.2 , рис 1.3. Сопло Вентурі, що має профільовану вхідну частину, складається із циліндричної частини й конічної вихідної частини - дифузора рис. 1.3.

Вимір витрати рідин і газів напірними трубками Напірні трубки (трубки Піто-

					МД П/4.1.22.000.00	Лист
						19
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

Прандтля) застосовують для виміру швидкості потоку рідкого чи газоподібного середовища в трубопроводах, а також у відкритих чи закритих каналах.[5] При відомій площі перетину потоку (трубопроводу) F і обмірюваній за допомогою напірної трубки середньої швидкості потоку w по всьому перетину можна розрахувати витрату даного середовища по формулі:

$$V = w \cdot F \quad (1.4)$$

Вимір швидкості потоку напірними трубками виконується по виміру динамічного тиску (швидкісного напору) P_d , що відповідно до рівняння Бернуллі дорівнює:

$$2 \cdot W \cdot P \cdot 2 \cdot d \cdot p = const, \quad (1.5)$$

де w - швидкість потоку в крапці виміру, м/с; ρ - щільність середовища, що рухається, у робочих умовах, кг/м³; P_d - динамічний тиск, створюваний потоком, Па. У даний час застосовується кілька конструктивних варіантів напірних трубок, пристосованих як для лабораторних, так і для промислових вимірів витрати чи швидкості рідких і газоподібних середовищ. Найбільше поширення одержали нормалізовані напірні трубки з напівсферичним наконечником (рис. 1.4).

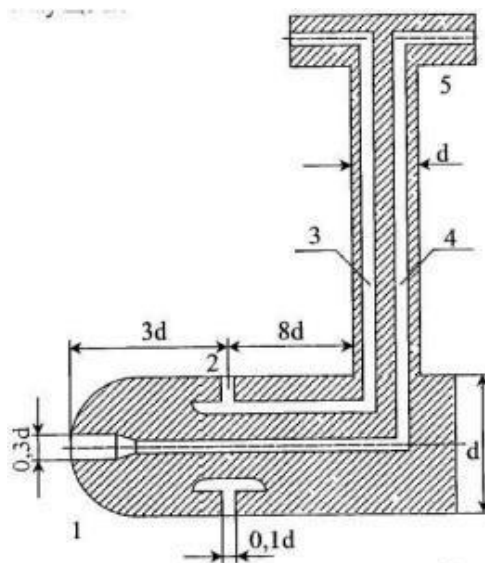


Рисунок 1.4 – Нормалізована напірна трубка

Повний напір сприймається центральним отвором у голівці, спрямованим назустріч потоку, а статичний тиск – через ряд отворів, розташованих по окружності на бічній поверхні корпуса трубки 2. Тиски з точок виміру відбираються за допомогою тонких трубочок 3 і 4 та виводяться усередині корпуса тримача до сполучних штуцерів 5. Перевагою трубки з напівсферичною голівкою є її мала чутливість до напрямку потоку, що набігає. Відхилення трубки від осі потоку на кут до 16° практично не позначається на результатах виміру, тому що повний і статичний тиск змінюються однаково. При вимірі витрати (швидкості) нормалізованими напірними трубками виникає похибка, обумовлена неточністю виготовлення самої трубки.[6] Напірні трубки для виміру витрати різних середовищ одержали поширення в промисловості, особливо в тих випадках, коли інші методи неефективні. Так, наприклад, у теплоенергетиці на котлах великої потужності для виміру витрати середовища в екранних трубах при проведенні теплогідравлічних іспитів одержала поширення напірна трубка конструкції ВТІ (рисунок 1.7). Трубка має два скошених отвори, один з яких сприймає повний тиск P_n , інший - статичний $P_{ст}$. Такі трубки зручні для виміру витрати середовища в трубах поверхонь рис.1.4 завдяки простоті конструкції і малому гідравлічному опору.

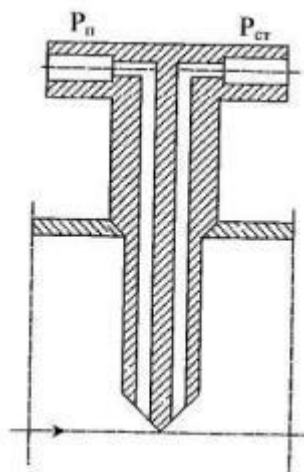


Рисунок 1.5 – Напірна трубка для виміру витрати в трубах малого діаметра

1.4.2 Ультразвукові витратоміри

Розглянуті вище методи виміру витрати мають істотний недолік, зв'язаний з тим що чуттєві елементи (діафрагма, сопло, напірна трубка) Рис 1.5 – Напірна трубка для виміру витрати в трубах малого діаметра знаходяться в потоці, що рухається, і випробують шкідливий вплив середовища на конструктивні частини чуттєвого елемента.[4] Останнім часом почали широко застосовуватися методи виміру витрати, у яких чуттєві елементи знаходяться поза середовищем, що рухається що дозволяє розширити кількість видів вимірюваних середовищ (розплавлені метали, кислоти, луги, агресивні і токсичні рідини, гази та ін.). В одному з таких методів виміру витрати використовується ультразвукова хвиля, що подає інформацію про швидка, а виходить про витрату середовища, що рухається, у закритих і відкритих каналах. В ультразвукових витратомірах використовуються різні ефекти, зв'язані з проходженням ультразвуку через середовище, що рухається: зміна швидкості ультразвуку в подовжньому напрямку потоку; відхилення ультразвукової хвилі при поперечному поширенні в потоці. Найбільше поширення одержав метод виміру витрати, заснований на вимірі різниці часів проходження ультразвуку по напрямку і проти напрямку плинущ середовища. На рис.1.6 показана схема двоканального ультразвукового витратоміра, у якому використовується частотний спосіб виміру тимчасових інтервалів при проходженні ультразвуку у двох напрямках: у напрямку потоку і проти.[5]

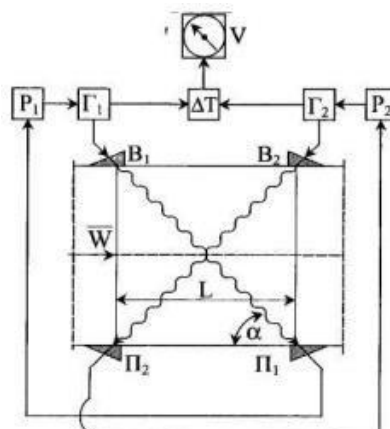
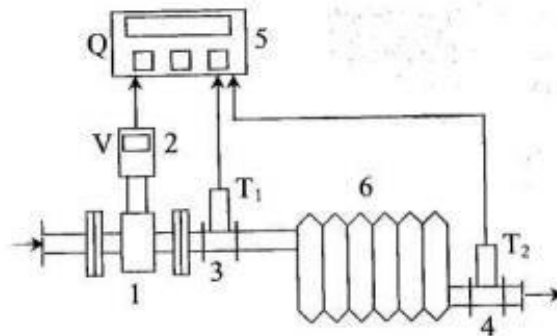


Рисунок 1.6 – Схема частотного ультразвукового витратоміра

Ультразвукові хвилі, утворені двома випромінювачами (В1, В2), проходять перетин каналу в двох напрямках і надходять на два приймачі, що перетворюють ультразвукові сигнали в електричні. Як випромінювачі використовуються п'єзокристали, які збуджуються високочастотними електричними сигналами від генераторів Г1 і Г2. Приймачі П1 і П2 посиляють електричні сигнали на відповідні реле Р1 і Р2, що керують роботою генераторів Г1 і Г2 у режимі «включено-виключено». При надходженні сигналу на реле відбувається відключення генератора, а при відсутності сигналу включення. Таким чином, генератори Г1 і Г2 працюють у періодичному режимі, а час роботи і «мовчання» дорівнює часу проходження ультразвукових сигналів через середовище, що рухається.[7] Вимір часу роботи генераторів (часу проходження ультразвуку через трубопровід) виробляється в часовому блоці ДТ. Розроблено інші типи ультразвукових витратомірів нового покоління, таких як час-імпульсні і фазові. У час-імпульсних витратомірах періодично виробляється вимір різниці часів проходження дуже коротких імпульсів тривалістю 0,1...0,2 мікросекунд, по ходу і проти ходу руху середовища в трубопроводі. Уданий час в Україні розроблені різні модифікації ультразвукових час-імпульсних і доплеровських (фазових) витратомірів, що застосовуються в нафтовій, металургійній, хімічній і іншій галузях промисловості для виміру витрати мазуту, нафти, нафтопродуктів і інших рідин, у тому числі середовищ, забруднених твердими і газоподібними включеннями. Перевагою таких витратомірів є широкий діапазон вимірюваних витрат від 0,45 до 110000 м³/год для трубопроводів діаметром від 40 до 1800 мм із похибкою виміру не більш 2%. Ультразвукові витратоміри є найбільш перспективними приладами для виміру витрати різних рідких і газоподібних середовищ, оснащені багатофункціональними малогабаритними мікропроцесорними пристроями. Найбільшу точність виміру показують одноканальні ультразвукові витратоміри з урізними датчиками, похибка яких не перевищує 0,3 %. Тема 4.4 Вимір витрати тепла в теплофікаційних системах Об'єктивний контроль і аналіз роботи ТЕЦ, котелень, теплових мереж, різних теплообмінників і інших теплових систем і

					МД П/4 1.22.000.00	Лист
						23
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

агрегатів можна здійснювати тільки шляхом безупинного виміру витрати і кількості тепла, що віддається споживачам. Прилад, що вимірює витрату тепла в одиницю часу, називається тепломіром. Прилад, що вимірює витрату і кількість теплоти за деякий проміжок часу, називається теплолічильником. Найбільш перспективними тепломірами є вимірювальні комплекси чи окремі прилади із широким застосуванням мікропроцесорних пристроїв. На рис.1.7 приведена одна з можливих схем обліку витрати тепла на опалення.[7]



1 – датчик ультразвукового витратоміра; 2 – витратомір; 3 – датчик температури прямої води; 4 – датчик температури зворотної води; 5 – тепломір; 6 – теплообмінник (споживач тепла) Рисунок 1.7 – Схема виміру витрати тепла на опалення

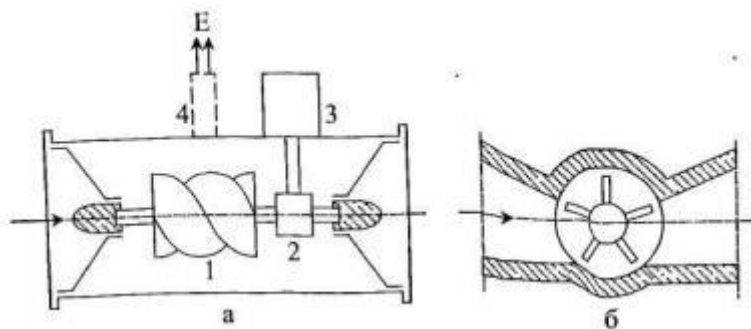
Витрата води здійснюється ультразвуковим витратоміром, з убудованим мікропроцесором 2 для обробки інформації від датчика витрати 1 з індикацією годинної витрати, а також за визначений проміжок часу. Температура води вимірюється на вході і виході з теплообмінника 6 двома платиновими термопарами опору 3 і 4.

1.4.3 Тахометричні витратоміри

У тахометричному методі використовується залежність швидкості руху чуттєвого елемента, поміщеного у вимірюване середовище, від витрати цього середовища. Тахометричний метод знайшов застосування для виміру холодної й гарячої води, кислот, лугів, рідких продуктів нафтопереробки, газів і інших речовин, що хімічно не діють на чуттєвий елемент витратоміра. За принципом дії

тахометричні витратоміри, що випускаються, розділяються на швидкісні й об'ємні. Швидкісні витратоміри (лічильники) застосовуються, головним чином, для виміру сумарної кількості холодної й гарячої води. У швидкісних лічильниках у якості чуттєвого (робочого) елемента застосовуються вертикальні і горизонтальні вертушки (турбінки).

Усередині корпуса розташована турбінка 1. Частота обертання турбінки, пропорційна об'ємній витраті, за допомогою редуктора 2 передається або на рахунковий механічний пристрій 3, або на електричний перетворювач 4, що видає електричний сигнал Е, пропорційний об'ємній витраті рідкого середовища, що протікає через трубопровід. Турбінні тахометричні витратоміри відрізняються великою точністю (похибка 0,5%), широким діапазоном вимірюваних витрат від 0,2-10-2 м³/год до 7500 м³/год при тисках до 250 МПа й температури від -240 °С до +700 °С. Вони встановлюються на трубопроводах діаметром 4...750 мм.[7]

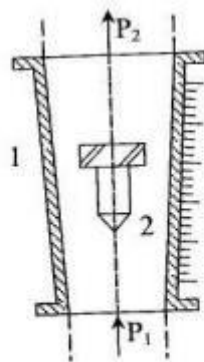


а – витратомір з аксіальною турбінкою; б – витратомір з тангенціальною турбінкою 1 – турбінка; 2 – передатний механізм; 3 – рахунковий пристрій; 4 – електричний перетворювач Рисунок 1.8 – Устрій турбінних витратомірів

Тахометричні турбінні витратоміри мають і недоліки, що обмежують їх застосування: вплив в'язкості вимірюваного середовища, знос опор при наявності твердих часток у рідкому середовищі. У промисловості й лабораторній практиці для виміру невеликих об'ємних витрат рідин (від 0,04 до 16 м³/год) і газів (від 0,063 до 40 м³/год) одержали поширення витратоміри постійного перепаду, більше відомі як ротаметри. Ротаметр являє собою вертикальну конічну (розбіжну

нагору) скляну трубку 1, усередині якої розташовується поплавець 2 (рис.1.9), виконаний у залежності від меж виміру з різних матеріалів(сталі, ебоніту, алюмінію, фторопласта). Центрування положення поплавця усередині конічної трубки досягається застосуванням спеціальної гвинтової насічки на ободку поплавця.[7] Під дією потоку, що рухається, поплавець переміщується у вертикальному напрямку й одночасно обертається навколо своєї осі, що і забезпечує його центрування в середині потоку. Об'ємна витрата середовища, що протікає через ротаметр, визначається по переміщенню поплавця уздовж шкали, нанесеної на бічній поверхні корпуса ротаметра. Принцип дії ротаметра заснований на зрівноважуванні при будьякій витраті сили ваги самого поплавця іншими силами, що діють на нього з а – витратомір з аксіальною турбінкою; б – витратомір з тангенціальною турбінкою 1 – турбінка; 2 – передатний механізм; 3 – рахунковий пристрій; 4 – електричний перетворювач

Рис.1.8 – Устрій турбінних витратомірів боку рідини.



1 – корпус; 2 – поплавок

Рисунок 1.9 – Схема ротаметра

Недоліками ротаметрів є: необхідність установки тільки на вертикальних ділянках трубопроводів, труднощі дистанційної передачі показань і запису, неможливість застосування для середовищ з високим тиском і температурою.[8]

1.5 Висновки до першого розділу

Отже, єдино правильним рішенням здійснення метрологічно достовірного і надійного обліку теплової потужності і масової витрати вологого насиченого пара,

					МД П/4 1.22.000.00	Лист
						26
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

є наступний метод:

- 1) сепарування вологої пари за допомогою сепаратора і конденсатовідвідника;
- 2) вимірювання витрати сухого насиченої пари будь-яким придатним для цього расходомером;
- 3) вимірювання витрати конденсату будь-яким придатним для цього расходомером;
- 4) розрахунок масових витрат і теплових потужностей пара і конденсату;
- 5) інтегрування параметрів в часі, архівування та формування протоколів вимірювань.

Вимірювання витрати конденсату повинен проводитися в тій частині конденсатопроводу, де забезпечено однофазне стан конденсату (без пари вторинного скипання), наприклад, після конденсатного бака (ресивера), що має зв'язок з атмосферою (Вістова трубу), з використанням конденсатного насоса або перекачує конденсатовідвідника.

Вимірювання швидкозмінних (пульсуючих) потоків витратомірами змінного перепаду тиску в деяких випадках може досягти неприпустимо великих значень. Це пов'язано з великим числом джерел похибки: впливу квадратичної залежності між витратою і перепадом тиску, впливом місцевого прискорення, впливу акустичних явищ і імпульсних (сполучних) трубок. Тому п.6.3.1 ГОСТ Р 8.586.1 2005 «Вимірювання витрати та кількості рідин і газів методом перепаду тиску» встановлює, що: «Витрата повинен бути постійним або повільно мінливим в часі».

Вимірювання пульсуючих витрат вихровими витратомірами не представляє проблем, так як ці витратоміри мають достатню швидкодію при вимірюванні витрати пара. Діапазон частот зриву вихорів з тіла обтікання при вимірюванні витрати пара становлять сотні і тисячі герц, що відповідає тимчасових інтервалах від одиниць до десятків мілісекунд. Сучасні електронні схеми вихрових витратомірів аналізують спектр сигналу за 3-7 періодів синусоїдального вихрового сигналу, забезпечуючи відгук протягом менш 30-70 мс, достатній для відстеження бистропротекаючих процесів.[9]

					МД П/41.22.000.00	Лист
						27
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РЕЄСТРАЦІЇ ВОДЯНОЇ ПАРИ

Вода може існувати в трьох фазових станах: твердому - лід, рідкому - вода і газоподібному - пар. Водяна пара - реальний газ, у якого зв'язок між параметрами і функціями стану знайдена тільки досвідченим шляхом. Результати експериментів представлені у вигляді таблиць і діаграм. Перетворення рідини в пар може бути у вигляді випаровування і у вигляді кипіння. Випаровування - утворення пари на поверхні твердої або рідкої фази. [10] Кипіння - утворення пари або в об'ємі рідини - об'ємне кипіння, або на твердій поверхні під шаром рідини - поверхневе кипіння. Існує три стану водяної пари:

- вологий насичений водяний пар;
- сухий насичений водяну пару;
- перегрітий водяну пару.

Двофазну суміш рідина - пар в стані насичення називають вологим насиченою водяною парою. Маса вологого насиченої водяної пари дорівнює сумі рідини і сухого пара:

$$m = m_{ж} + m_{п}, \quad (2.1)$$

де $m_{ж}$ – маса рідини, кг; $m_{п}$ – маса пари, кг.

Насичена водяна пара, що не містить рідини, називають сухим насиченим водяною парою ($m_{ж} = 0$).

Температуру і тиск, при яких відбуваються кипіння рідини і конденсація водяної пари, називають температурою насичення і тиском насичення. Пар з температурою вище температури насичення при даному тиску називають перегрітою водяною парою. Для характеристики вологого насиченої водяної пари вводять поняття ступеня сухості пара, яка дорівнює відношенню маси сухого насиченої пари $m_{п}$ до маси двухфазної суміші рідина - пар:

					МД П/4.1.22.000.00	Лист
						28
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

$$x = \frac{m_n}{m}, \quad (2.2)$$

де $m = m_{\text{ж}} + m_{\text{п}}$ – маса вологого пару, кг.

Ступінь сухості змінюється в межах від нуля до одиниці $0 \leq x \leq 1$. При $x = 0$ вода знаходиться в стані киплячій рідини, а при $x = 1$ – в стані сухої насиченої водяної пари. Відношення маси рідини до маси вологого насиченої водяної пари називають ступенем вологості:

$$1 - x = \frac{m_{\text{жс}}}{m} \quad (2.3)$$

Визначення фазового стану та значень параметрів стану виконують за таблицями термодинамічних властивостей води і водяної пари.

2.1 Розробка структурної та функціональної схем

Функціональна схема

Електромагніти вихровий витратоміра з розташуванням джерела магнітного поля всередині тіла обтікання (рис. 2.1).

Регулятор потоку містить індуктор магнітного поля, трубопровід 1, тіло обтікання 2, виконане у вигляді двох постійних магнітів 3, звернених один до одного різнойменними полюсами і розділених каналом 4, електроди 5, розміщені на діаметрально протилежних стінках каналу ізолятора 6 уздовж поздовжньої осі трубопроводу. Трубопровід витратоміра виконаний з магнітного матеріалу (армко) і є одночасно магнітопроводом, замикаючим магнітне поле в зовнішньому просторі.

Постійні магніти жорстко пов'язані з трубопроводом. У витратомірі тіло обтікання одночасно є і індуктором збудження магнітного поля. Постійні магніти орієнтовані полюсами перпендикулярно поздовжньої осі трубопроводу. У витратомірі необхідна чутливість забезпечується за рахунок створення значної індукції магнітного поля, одержуваної в каналі.[11]

					МД П/41.22.000.00	Лист
						29
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

Регулятор потоку призначений для вимірювання витрат електропровідних рідин. Принцип дії приладу полягає в наступному : при русі електропровідної рідини по трубопроводу в потоці при зустрічі з тілом обтікання і в області вхідних отворів каналу, також заповненого вимірюваним середовищем, утворюються вихори Кармана. Утворилися вихори послідовно чергуються, і в області вхідних отворів каналу створюється різниця тисків; рідина в каналі починає пульсувати з частотою вихреутворення. Частота вихреутворення, як відомо, пропорційна швидкості руху рідини (або витраті). Рідина, пульсуюча в каналі, перетинає магнітні силові лінії, що створюються індуктором магнітного поля. При цьому в рідині індуктується змінне електричне поле, частота якого пропорційна витраті протікає по трубопроводу рідини. На електродах створюється різниця потенціалів; частота сигналу є мірою витрати рідини.[10]

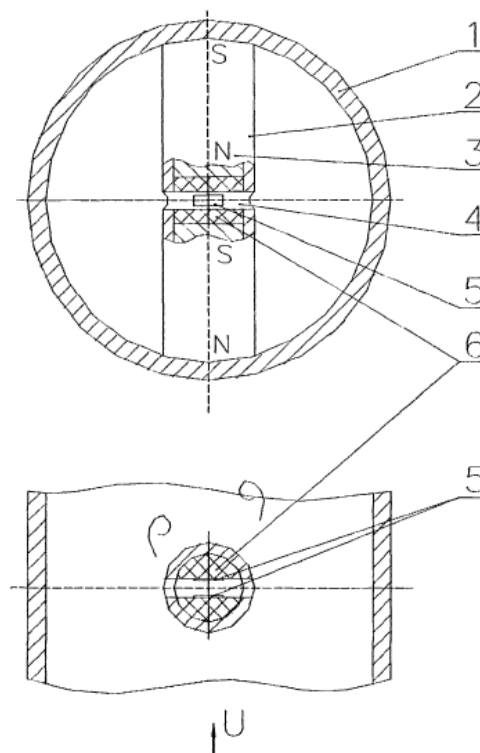


Рис.2.1 – Принципова схема вихрового витратоміра пари

Структурна схема

Вимірювальне середовище(у нашому випадку пара), протікаючи по трубопроводу, створює з обох сторін тіла обтікання 1 поперемінно зриваються

					МД П/4.1.22.000.00	Лист
						30
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

вихори і пульсації тиску, які передаються в щілинний канал 2 і відхиляють пластинчастий електрод 5 з частотою, пропорційною швидкості рідкого середовища в трубопроводі, внаслідок чого пластинчастий електрод 5 коливається. При зменшенні відстані між пластинчастим електродом 5 і одним із стрижневих електродів 4 і при торканні електродів 4 і 5 відбудеться закорочування ланцюга між джерелом живлення 9 і загальним проводом, так як пластинчастий електрод має нульовий потенціал. При цьому на вході одного з підсилювачів постійного струму електричний сигнал стає близьким до "0" і на його виході з'являється напруга низького рівня, яке встановлює тригер 7 в одне зі стійких станів. При торканні пластинчастого електрода 5 протилежної стрижневого електрода 4 нульовий сигнал з'являється на вході іншого підсилювача постійного струму 6, а напруга на його виході перемикає тригер 7 в інший стійкий стан. При цьому високочастотні коливання стрижневих електродів 4 (брязкіт) і паразитні коливання пластинчастого електрода 5, викликають можливі повторні торкання одного і того ж пластинчастого електрода 4, не змінюють стан тригера 7. Таким чином, на виході тригера 7 утворюються стійкі прямокутні імпульси, частота яких пропорційна швидкості середовища в трубопроводі.[9] Знаючи вагу імпульсу, можна судити про об'ємної витрати рідкого середовища.[12]

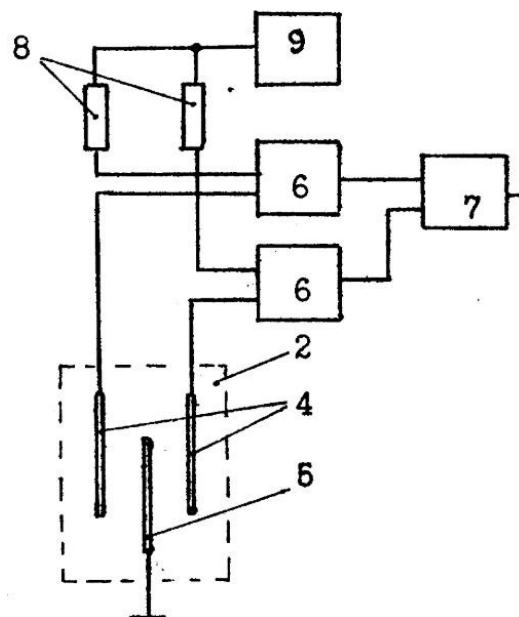


Рис 2.2 - Структурна схема.

					МД П/4.1.22.000.00	Лист
						31
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

2.2 Розроблення математичної моделі впливу водяної пари

Відмінною особливістю розробленої моделі водяної пари є використання замість традиційних рівнянь стану апроксимаційних залежностей, отриманих обробкою експериментальних даних для компонентів робочого тіла [1].

В даний час накопичений значний експериментальний матеріал по властивостям речовин, представлений у багатьох довідниках і їх електронних аналогах [2], наприклад, довідник Н. Б. Варгафтік, що витримав безліч видань [3, 4], електронні бази даних по теплофізичних властивостях речовин [5 - 7]. Сучасний рівень розвитку обчислювальної техніки дозволяє отримувати прямий доступ до них за допомогою використання хмарних серверів [8]. Неформалізована постановка задачі розрахунку параметрів речовини, що транспортується в трубопроводі формулюється так: визначити параметри робочого тіла в трубопроводі з урахуванням можливих фазових переходів, наявності місцевих та розподілених гідравлічних опорів, невикористовуваних відводів від основного трубопроводу, теплообміну з конструкційними елементами, втрат тепла і витоків через ущільнення.

При розробці математичної моделі прийняті наступні допущення:

- протягом аналізованого інтервалу часу теплофізичні характеристики речовини, що транспортується і температури конструкційних елементів, що контактують з робочим тілом, вважаються незмінними;
- рідка фракція робочого тіла нестислива;
- коефіцієнт тепловіддачі від конструкційного елемента до робочого тіла не залежить від форми поверхні і її орієнтації в просторі;
- трубопровід в елементарній області має постійний перетин.

При розрахунку зміни параметрів пари на ділянці трубопроводу враховуються такі чинники: довжина і діаметр трубопроводу; витрата, початковий тиск і температура пари; товщина теплоізоляційного покриття і величина його провисання; втрати тиску і температури пари на місцевих і розподілених опорах; втрати тепла через опори трубопроводу і на відкритих елементах трубопроводної

					МД П/4.1.22.000.00	Лист
						32
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

арматури; температура і швидкість повітря. У зв'язку з великою кількістю чинників і явищ, що підлягають обліку, дана задача розбита на підзадачі, що дозволило, послідовно ускладнюючи систему рівнянь, скласти досить повну модель процесу транспортування водяної пари. Виділено наступні підзадачі: визначення фазового складу потоку; зміна температурного поля рухомого потоку; процес теплообміну з конструкційними елементами; розрахунок гідродинамічних параметрів потоку, що рухається; розрахунок термодинамічних параметрів робочого тіла.[13]

Зміна фазового складу потоку і його теплосодержание визначаються на основі рівнянь збереження енергії:

- зміна теплосодержания газу

$$Q_g = C_v(T + \Delta T, P + \Delta P)(T + \Delta T)(m_g - m_f - m_u) - C_v(T, P)Tm_g \quad (2.4)$$

- зміна теплосодержания рідкої фази

$$Q_l = C_l(T + \Delta T, P + \Delta P)(T + \Delta T)(m_l - m_f - m_{lu}) - C_l(T, P)Tm_l, \quad (2.5)$$

де P, V, T - поточні тиск, обсяг і температура; $m_g, m_f, m_u, m_l, m_{lu}$ - поточні маси газу; робочого тіла, яка вчинила фазовий перехід; газоподібного робочого тіла, витісненого в додатковий простір; рідкої фази; рідкої фази, витісненої в додатковий простір відповідно; $\Delta P, \Delta T$ - зміни тиску і температури, викликані зміною обсягу V ; $C(T), C(P)$ - теплоємності газової і рідкої фаз при температурі T і тиску P (тут і далі розмірність всіх величин дана в системі СІ).

Питома теплота фазового переходу

$$Q_f = r(T + \frac{\Delta T}{2})m_f, \quad (2.6)$$

де r - питома теплота пароутворення.

Стаціонарне температурне поле потоку, що рухається в режимі ідеального витіснення по каналу постійного перетину, описується рівнянням

					МД П/4.1.22.000.00	Лист
						33
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

$$\frac{dt(x)}{dx} + Kt(x) = S \quad (2.7)$$

$$K = \frac{\alpha \Pi}{Gc}, S = \frac{\alpha \Pi t_F}{Gc}, \quad (2.8)$$

де α - коефіцієнт тепловіддачі від стінки каналу до пару; x - просторова координата по напрямку руху потоку; $t(x)$ - поточна температура потоку; G - масова витрата пара; c - теплоємність пара; Π - омивається периметр каналу; t_F - температура стінки трубопроводу. Стаціонарне температурне поле теплоізолированной стінки трубопроводу, що має форму необмеженого двошарового полого циліндра, описується рівняннями:

$$\frac{\partial^2 S_i(r_i)}{\partial r_i^2} + \frac{1}{r_i} \cdot \frac{\partial S_i(r_i)}{\partial r_i} = 0, i = 1, 2, R_{i-1} \leq r_i \leq R_i; \quad (2.9)$$

$$\lambda_1 \frac{\partial S_1(R_1)}{\partial r_1} + \alpha_1 (S_1(R_1) - t_{c1}) = 0; \quad (2.10)$$

$$\lambda_2 \frac{\partial S_2(R_2)}{\partial r_2} + \alpha_2 (S_2(R_2) - t_{c2}) = 0; \quad (2.11)$$

$$S_1(R_1) = S_2(R_1); \lambda_1 \frac{\partial S_1(R_1)}{\partial r_1} = \lambda_2 \frac{\partial S_2(R_2)}{\partial r_2}, \quad (2.12)$$

де α_1, α_2 - коефіцієнти тепловіддачі від поверхонь трубопроводу до парового потоку і навколишнього середовищу; λ_1, λ_2 - теплопровідність матеріалів трубопроводу і теплоізоляції; t_{c1}, t_{c2} - температури пара і навколишнього середовища.[12]

Зміна температури пара, викликане зміною тиску, визначається за формулою:

					МД П/4.1.22.000.00	Лист
						34
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

$$\Delta t = (t_p + 273) \left(1 - \frac{\Delta P}{P_p}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 273, \quad (2.13)$$

де Δt , ΔP - перепади температури і тиску відповідно; t_p , P_p - початкові температура і тиск пари; k - показник адіабати.

Залежно від поставленого завдання, на основі заздалегідь підготовлених таблиць експериментальних даних складаються залежно основних термодинамічних параметрів від температури і тиску в робочій області. У зв'язку з тим, що в даній роботі розглядаються варіанти транспортування як перегрітого, так і насиченої водяної пари, проаналізовані таблиці довідкових даних для водяної пари. Наведемо приклад формальної апроксимації (без урахування фізичних розмірностей величин, що входять в розрахункові формули) теплофізичних характеристик насиченої водяної пари як функції чисельних значень температури t , °C, або тиску P , атм, при $120 < t < 230$ °C:

- тиск

$$P(\tau) = \varepsilon \xi \pi (4.857 \lambda \nu(\tau) + 126\tau - 23.6); \quad (2.14)$$

- температура

$$\tau(P) = \varepsilon \xi \pi (-0.07755 \varepsilon \xi \pi (P) + 0.2444 \lambda \nu(P) + 4.6251); \quad (2.15)$$

- питомий об'єм

$$w(\tau) = 1p(\tau) = \varepsilon \xi \pi (4.708 \lambda \nu(\tau) + 138.16\tau - 23.5277); \quad (2.16)$$

- теплота пароутворення

$$p(\tau) = (2.3188 \cdot 10^{-6} \tau^2 + 0.41954)^{-1} \cdot 10^6; \quad (2.17)$$

При вирішенні даної задачі для насиченої пари складність не виникає, і немає необхідності у використанні рівняння стану для ідеального газу. Залежності тиску

					МД П/4.1.22.000.00	Лист
						35
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

від температури беруться безпосередньо з експериментальних даних. Якщо початковий стан газу не відповідає стану насичення, то необхідна додаткова залежність. Це або рівняння Клайперона- 68 ISSN 0136-5835. Вісник ТДТУ. 2015. Том 21. № 1. Transactions TSTU Менделєєва або його аналог, або отримані шляхом обробки експериментальних даних апроксимаційні залежності питомої обсягу пара від тиску і температури.[12]

2.3 Математична модель засобу вимірювання

Схема дії сил і тисків в каналі тіла обтікання вихрового витратоміра з індукційним зніманням сигналу представлена на рис. 2.3.

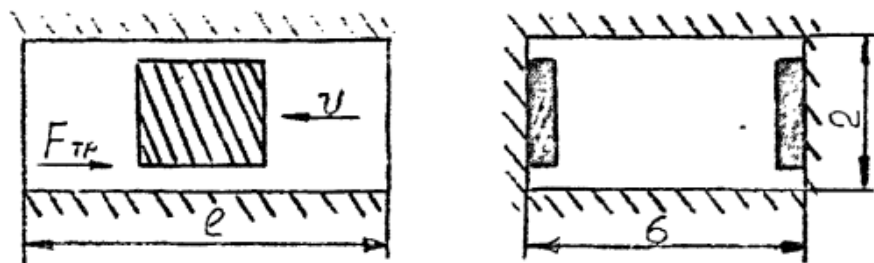


Рис.2.3 Схема дій сил в каналі тіла обтікання

Рідина в каналі приводиться в рух під впливом перепаду тиску Δp , що виникає в результаті процесів вихребразовання. Сила в'язкого тертя $F_{тр}$ перешкоджає цьому рухові, звідси:

$$\Delta p \cdot S = F_{тр}, \quad (2.18)$$

де S – площа поперечного перерізу.

Відомо що :

$$F_{тр} = 2\pi r l \tau$$

$$\Delta P = P_1 - P_2 = \left| -\frac{\rho w^2 a^2}{2} \right| \quad (2.19)$$

тому маємо :

$$\frac{p\omega^2 a^2}{2} \pi r^2 = 2\pi r l \tau, \quad (2.20)$$

де r - радіус каналу в перерахунку прямокутного перетину каналу кругле; l - довжина каналу; τ - дотичне напруження.

Після скорочення і підстановки значення в вираз маємо:

$$p\omega^2 a^2 r dr = 4l \mu dv, \quad (2.21)$$

Звідки знаходимо

$$v = \int_0^r \frac{p\omega^2 a^2}{4l\mu} r dr \quad (2.22)$$

і після інтегрування отримаємо

$$v = \frac{p\omega^2 a^2}{8l\mu} r^2 \quad (2.23)$$

Використовуючи формулу

$$\Delta P = \frac{v 4l\mu}{r^2} \quad (2.24)$$

можна отримати ідентичне вираз для швидкості рідини в каналі тіла обтікання:

$$\frac{v 4l\mu}{r^2} = \frac{p\omega^2 a^2}{2} \quad (2.25)$$

звідки слід

$$v = \frac{p\omega^2 a^2}{8l\mu} r^2 \quad (2.26)$$

Визначимо залежність швидкості рідини в каналі v від швидкості потоку в трубопроводі U .

Маючи на увазі залежності:

$$f = Sh \cdot U / d \quad (2.27)$$

$$w = 2\pi f \quad (2.28)$$

з формули (2.19) отримаємо:

$$\Delta P = \frac{(2\pi Sh \frac{U}{d})^2 pa^2}{2} = \frac{2\pi^2 Sh^2 U^2 pa^2}{d^2} \quad (2.29)$$

Прирівнявши вирази (2.22) і (2.23), знайдемо шукану залежність $v = \varphi(U)$

$$v = \frac{\pi^2 Sh^2 U^2 pa^2 r^2}{2d^2 \mu l} \quad (2.30)$$

Так як $\frac{\mu}{p} = \nu$, то

$$v = \pi^2 Sh^2 a^2 \frac{r^2}{2d^2 l} \frac{1}{\nu} U^2 \quad (2.31)$$

Визначимо залежність витрати Q від частоти вихрових коливань f . Для цього прирівняємо рівняння (2.21) і (2.24) та маючи на увазі, що

					МД П/4.1.22.000.00	Лист
						38
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

$$U = \frac{Q}{S} \quad (2.32)$$

отримаємо

$$\frac{pw^2 a^2 r^2}{8l\mu} = \pi^2 Sh^2 a^2 \frac{r^2}{2d^2 l} \frac{1}{v} \frac{Q^2}{S^2} \quad (2.33)$$

звідки

$$Q = \frac{Sd}{2\pi Sh} w \quad (2.34)$$

та отсаточно :

$$Q = \frac{Sd}{Sh} f \quad (2.35)$$

Співвідношення (2.25) є основним і може бути визначальним рівнянням вихрового витратоміра з індукційним зніманням сигналу. Воно показує незалежність витрати від фізичних властивостей вимірюваного середовища.[14]

Дослідження сигналу, що знімається з електродів датчика витрати.

Сигнал, що знімається з електродів первинних перетворювачів витрати, описується рівнянням

$$E = E_0 + \sum_n B_0 u_n l \sin w_n t + e_t + e_{np} , \quad (2.36)$$

де E_0 - амплітуда постійної складової різниці потенціалів між електродами;

$\sum_n B_0 u_n l \sin w_n t$ - амплітуда різниці потенціалів між електродами від пульсаційної

складової швидкості потоку в каналі (B_0 - магнітна індукція в каналі; u_n - пульсації складової швидкості рідини в каналі тіла обтікання; l - відстань між електродами);

e_t – ЕРС теплових шумів; e_{np} – ЕРС інших перешкод; $E_0 = B_0 u_0 l$ – постійна

					МД П/4 1.22.000.00	Лист
						39
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

складова сигналу, яка сприяє виникненню поляризації електродів через електродних процесів, що відбуваються на межі електрод - рідина, і залежить від точності виготовлення отвору наскрізного каналу, симетрії вхідних отворів каналу і точності установки тіла обтікання по діаметру трубопроводу.

При точному виготовленні перетворювача витрати величина E_0 дорівнює нулю. Для максимального зменшення E_0 при виготовленні первинного перетворювача витрати необхідно прагнути до точного виготовлення всіх деталей, особливо отвори капала, і точній установці тіла обтікання в трубопроводі.

Якщо E_0 матиме мінімальне значення, то на результати шмеренія знакозмінних пульсаційних складових порівняно повільно змінюються електродні процеси не зроблять істотного впливу.

Можна пов'язати пульсаційну складову різниці потенціалів між електродами з частотою вихреброобразования, представивши $\sum B_0 u_n l \sin wt$ у вигляді

$$\sum_n B_0 u_n l \sin 2\pi \frac{Sh \cdot U}{d} t, \quad (2.37)$$

де $2\pi \frac{Sh \cdot U}{d} = w_n$ – кругова частота пульсації швидкості рідини в каналі (Sh - число Струхала; U - швидкість в трубопроводі; d - характерний розмір тіла обтікання).

Амплітуда різниці потенціалів між електродами від пульсаційної складової швидкості максимальна на основній частоті, тобто на частоті вихреброобразования. Це досягається збільшенням відстані між електродами l і збільшенням індукції магнітного поля B_0 . [15]

Розглянемо вплив рівня теплових шумів в витратомірі c_t .

Активний опір вимірювального ланцюга складається з опору рідини між електродами і вхідного опору вимірювального пристрою. Рівень теплових шумів залежить від опору вимірювального ланцюга і визначається співвідношенням

$$e^2 = 4KTR_{\Delta}f, \quad (2.38)$$

де K - постійна Больцмана; T - абсолютна температура; R - внутрішній опір первинного перетворювача витрати:

$$R = 1 / \sigma d_e \quad (2.39)$$

Δf - ширина частотної характеристики шмерітельного пристрої; σ - провідність рідини; d_e - характерний розмір електрода.

Таким чином, рівень теплових шумів залежить від провідності середовища і, в основному, від розмірів електродів. Тому необхідно збільшити поверхню електрода.

Вплив теплових шумів можна знизити застосуванням вузькосмугового вимірювального пристрою, але в електромагнітних вихрових витратомірах це неприйнятно, тому що іігріна частотної характеристики вимірювальних пристроїв такого витратоміра повинна бути принаймні на два порядки більше (сотні Гц), ніж в звичайних електромагнітних витратомірах.[16]

$\epsilon_{\text{пр}}$ - ЕРС перешкод в вихрових витратомірах повинна бути мінімальна. У виробничих і лабораторних умовах сильний вплив надають перешкоди промислової частоти 50 Гц, так як вони близькі до робочих частотах витратоміра.

Зменшити вплив перешкод можна застосуванням симетричного (диференціального) вхідного пристрою, екрануванням і ретельно заземленням середньої точки входу і трубопроводу, не збільшуючи розмір тіла обтікання, збільшити індукцію магнітного поля в каналі можна, збільшивши довжину постійних магнітів, тобто зменшивши діаметр каналу.

Одночасно для отримання максимальної різниці потенціалів між електродами від пульсаціошюй складової швидкості потоку бажано увелічт' відстань між електродами. Одночасно збільшити B_0 і l можна тільки, застосувавши прямокутний перетин каналу (рис.2.4)

					МД П/41.22.000.00	Лист
						41
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

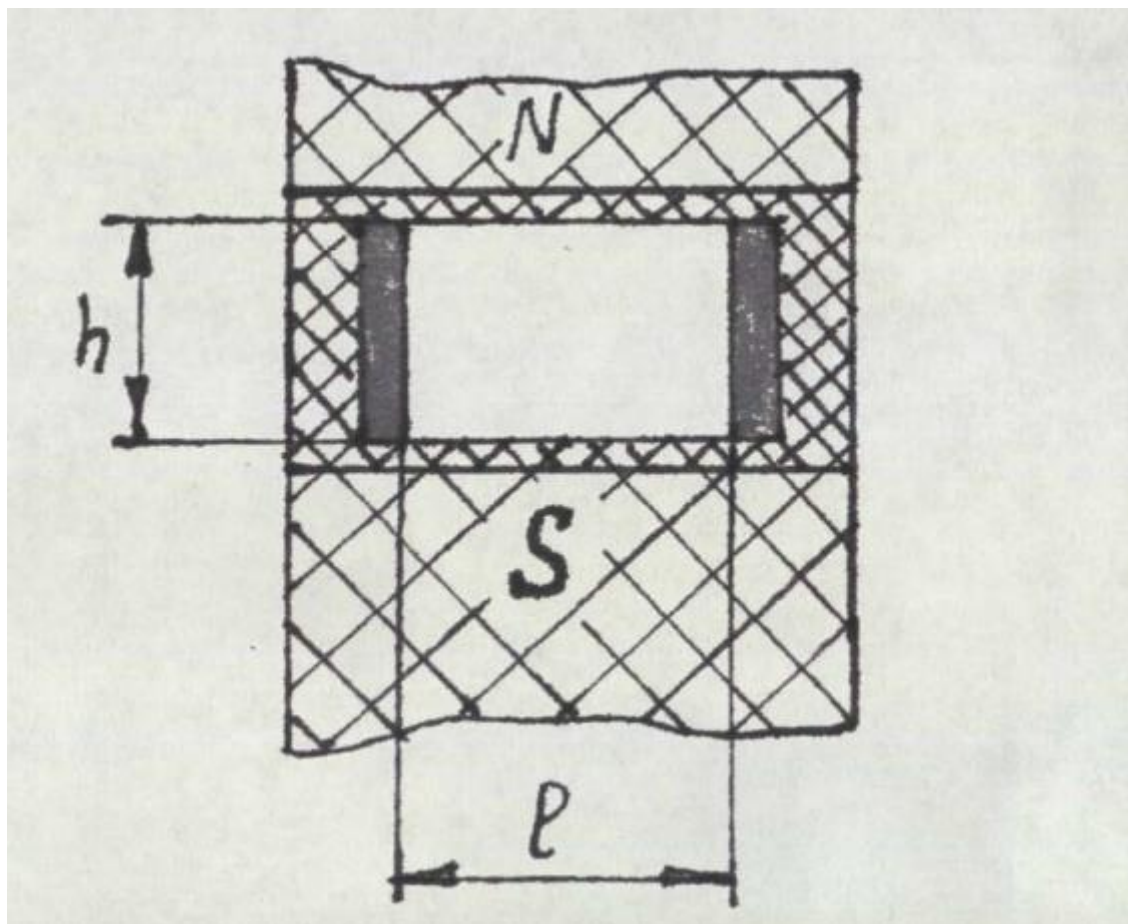


Рис.2.4 Прямокутний перетин каналу

Крім того, при застосуванні прямокутного каналу різниця потенціалів між електродами не залежить від епюри швидкостей при будь-якому довільному розподілі швидкостей рідини в каналі.

При вимірі пульсуючих потоків зростає вплив шумів, що виникають в різних елементах вимірювальної схеми. Вплив шумів залежить від ширини частотної характеристики і знижується при використанні вузької смуги пропускання в вимірювальному приладі.[15]

При проведенні експериментальних робіт макет вихрового витратоміра з індукційним зніманням сигналу (рис.2.5) мав діаметр умовного проходу $D = 100$ мм, напруженість в місці установки електродів 1750 Гс. Електроди були виконані з нержавіючої сталі 12Х18Н10Т розміром $8 * 3 * 0,5$ мм.

					МД ПІ41.22.000.00	Лист
						42
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

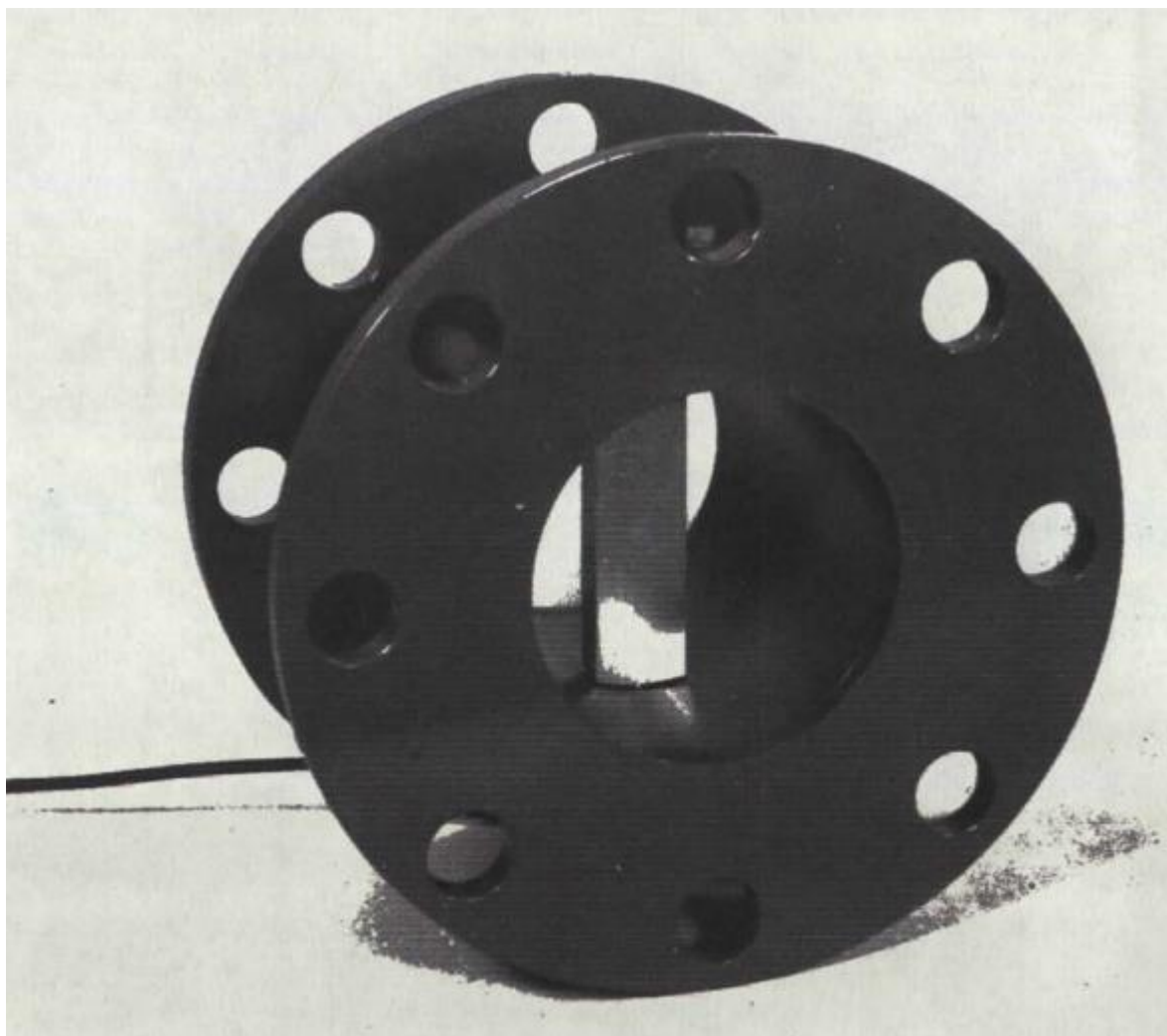


Рис.2.5 Макет вихрового витратоміра з індукційним зніманням сигналу

Рівень теплових шумів і перешкод при відсутності витрати і ретельному заземленні складе 10 мкВ. Залежність $f = \varphi(Q)$ лінійна в вимірюваному діапазоні витрат від 20 до 100% (рис.2.6).[17]

					МД ПІ41.22.000.00	Лист
						43
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

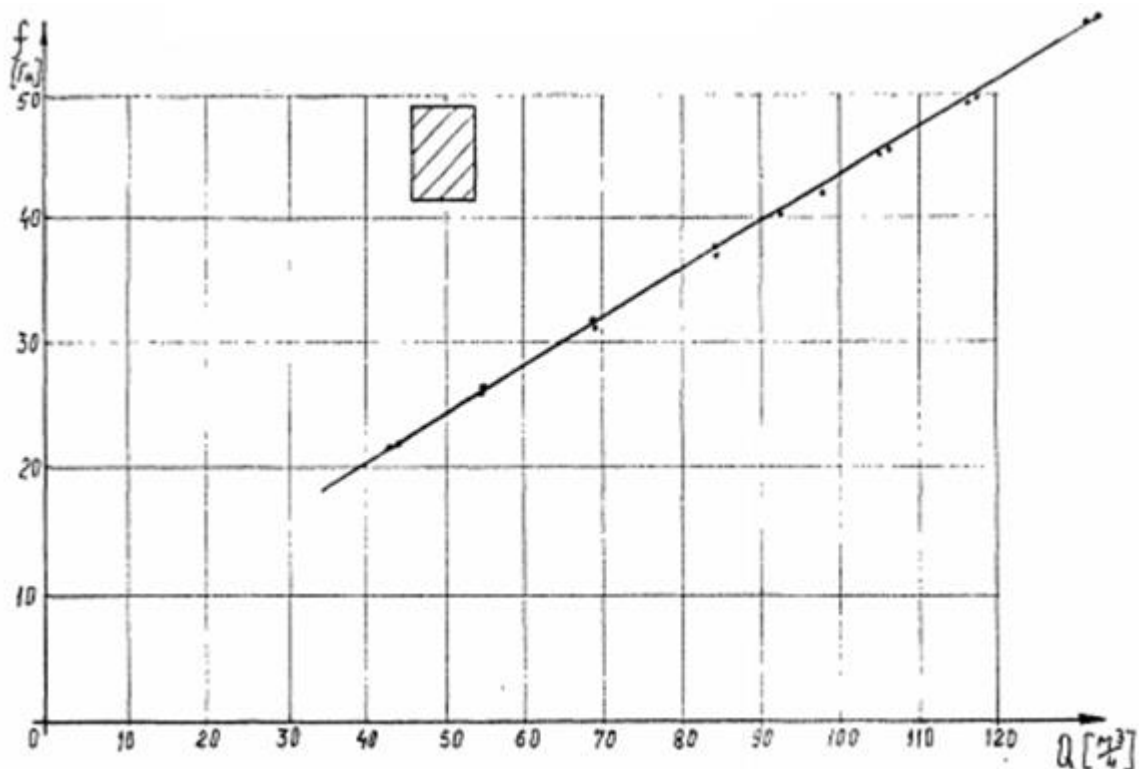


Рис. 2.6 Залежність $f = \varphi(Q)$ вихрового витратоміру з індукційним зйомом сигналу

Відчуваючи макет витратоміра з різними тілами обтікання. При випробуваннях ставилася мета визначення оптимальної геометрії тел обтікання в плані отримання максимального значення вихідного сигналу за амплітудою.

Останнє завдання вирішувалася за допомогою заміни різних обтікувачів при всіх інших незмінних умовах (сталість витрати, температури, незмінність вторинної електронної системи, однаковий вимірюючий ділянку тощо). Досліджувалися тіла обтікання різної геометричної форми, різних розмірів однієї форми, а також вплив місць відбору тиску і величини діаметра відбору тиску на частоту вихреутворення.[18]

Макет датчика вихрового витратоміра з індукційним зніманням сигналу був встановлений в лінію витратомірної установки. Сигнал від датчика по лінії зв'язку подавався на індикатор нуля Ф-510. Крім того, при вимірах використовувався генератор імпульсів ГЗ-33 і частотомер хронометр Ф-588.



Рис. 2.7 Блок-схема випробувань вихрового витратоміра з індукційним зніманням сигналу

Використовувалися два незалежних способу індикації частоти вихреутворення:

1. фотографування з екрану осцилографа сигналу з подальшим визначенням частоти сигналу по мітках часу;

2. компенсаційний спосіб вимірювання за допомогою індикатора нуля Ф-510 з диференціальним входом і генератора імпульсів. За умови рівності частот з датчика вихрового витратоміра і генератора на екрані індикатора нуля з'являлася коло або еліпс. Максимальне значення амплітуди встановлювалося оператором вручну. Посилена приладом Ф-510 частота з датчика вихрового витратоміра подавалася на частотомір або лічильник імпульсів. Амплітуда сигналу з датчика витрати становила 0,3 - 0,5мВ.[17]

Зміна місць відбору тиску від осі трубопроводу по висоті тіла обтікання в межах $\pm 1/6$ частини діаметра умовного проходу трубопроводу практично не впливало на інтенсивність вихреутворення. Зміна номінального розміру діаметра отвору відбору тиску на 25% незначно позначалося на вихідну частоту. Номінальне значення діаметра отвору відбору тиску становило 4 мм.

Результати випробувань зведені в табл. 2.1 - 2.7 і показані на графіках (рис.2.8 - 2.14).

Випробування тіла обтікання

Час виміру Т	Обсяг по баку, л	Витрата м ³ /ч	Частота Гц	Похибка %
67,1	1013	54,34	20,39	-0,611
67,9	1026	54,40	20,36	-0,641
54,1	1010	67,20	25,94	-2,564
55,5	10,36	67,20	28,23	0
50,6	1056	75,13	30,15	-3,205
50,9	1060	74,97	30,89	-1,923
48,4	1088	80,92	34,53	-1,282
41,8	938	80,78	34,21	-1,282
36,8	934	91,37	42,08	0,641
47,5	1198	90,80	42,38	0,641
34,1	1039	109,69	53,38	1,923
33,4	1016	109,51	53,42	1,923
28,8	1087	135,87	62,55	-3,846
30,15	1132	135,16	62,81	-3,205
71,16	948	47,96	18,13	0,641
66,21	884,8	48,11	17,96	0
38,8	968,5	89,86	41,77	0,962
40,47	997	88,69	41,76	0,961
33,75	947,8	101,1	47,32	0,128
37,46	1051	101,0	47,23	0,641
33,23	1118	121,12	58,01	0
34,3	1156	121,33	58,38	0,192
29,5	1253	152,9	78,03	3,205

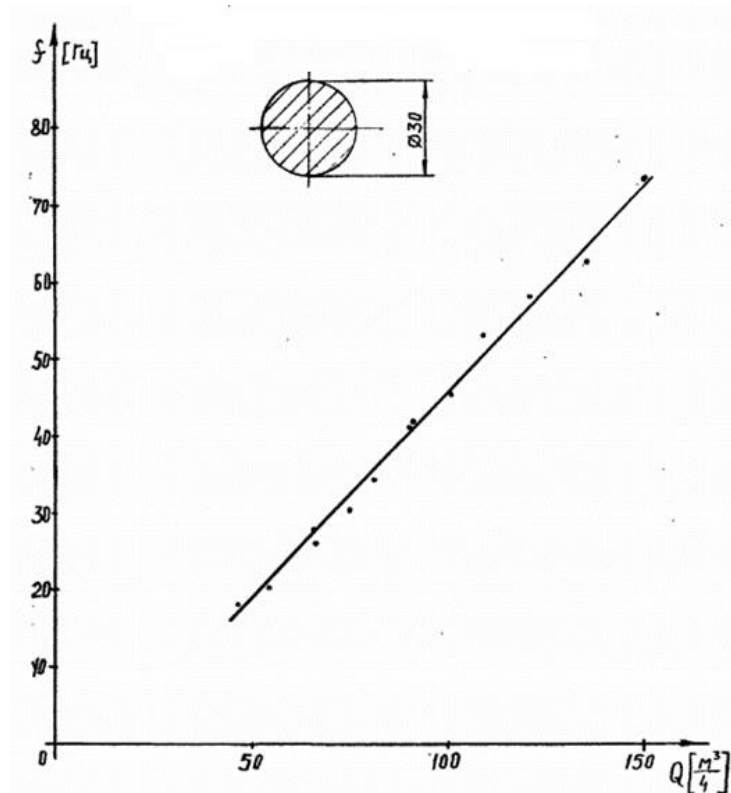


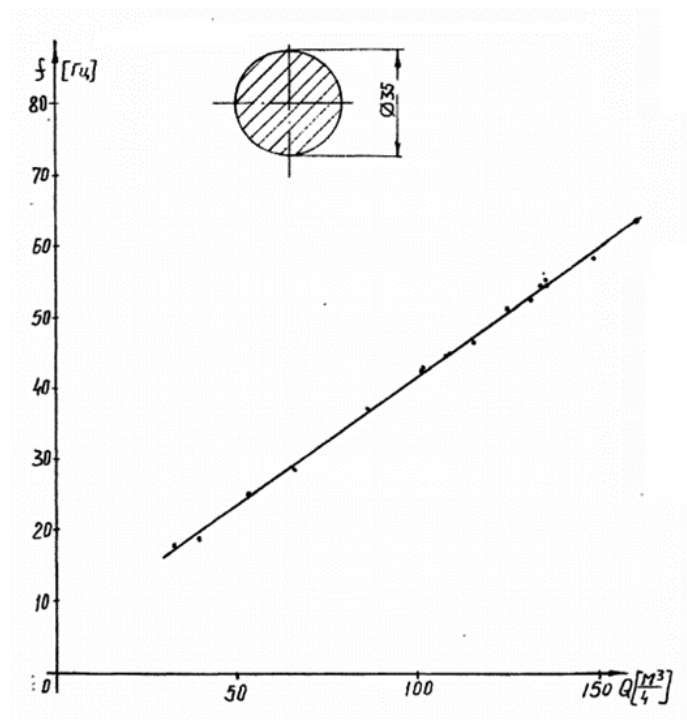
Рис. 2.8 Залежність $f = \varphi(Q)$

Таблиця 2.2

Випробування тіла обтікання

Час виміру Т	Обсяг по баку, л	Витрата м³/ч	Кількість імпульсів	Частота Гц	Похибка %
1	2	3	4	5	6
28,2	1172,5	149,68	1626	57,659	-3,937
28,9	1090	135,778	1599	55,328	0,787
30,93	1153	134,199	1683	54,41	-3,937
31,34	1091	125,32	1617	51,59	0,787
37,22	1130	109,296	1673	44,948	-0,787
42,86	1032,5	86,72	1593	37,167	1,575
55,26	1013	66,04	1593	28,82	-0,394
61,46	910	53,30	1556	25,317	1,575

1	2	3	4	5	6
90,78	944,5	37,45	1632	17,97	-0,787
95,43	1058,5	39,93	1823	19,103	0
24,848	1092	158,209	1582	63,667	0
29,548	1117,5	136,15	1616	54,69	-0,787
29,256	1108	136,34	1598	54,621	-1,968
30,238	П02	131,199	1597	52,814	-1,968
30,158	1102	131,547	1642	54,44	0,787
32,732	1050	115,483	1504	45,948	-1,968
36,369	1096	108,487	1623	44,625	0
36,372	1099	108,775	1608	44,20	-0,787
40,399	1141	101,675	1722	42,62	0,787
40,388	1143	101,881	1745	43,205	0,181

Рис. 2.8 Залежність $f = \varphi(Q)$

Випробування тіла обтікання

Час виміру Т	Обсяг по баку, л	Витрата м ³ /ч	Кількість імпульсів	Частота Гц	Похибка %
40,006	1509	143,438	2223	55,56	-0,45
40,186	1426	127,74	2131	53,028	3,153
40,293	1431	127,85	2095	51,994	1,171
47,973	1488	111,662	2229	46,463	1,576
53,204	1469,5	99,432	2145	40,316	-1,576
54,363	1498,5	99,23	2213	40,707	-0,676
58,808	1511	92,497	2168	36,865	-3,604
58,340	1499	92,499	2151	36,87	-3.604
43,609	982	81,065	1418	32,516	-4,054
44,294	996,5	80,99	1440	32,51	-4,054
53,672	1020	68,415	1617	30,127	0,09
53,368	1013	68,333	1691	30,561	0,90
70,931	1018	51,667	1799	25,362	0
70,382	1012	51,763	1779	25,276	0,45
94,667	863,5	32,837	1900	20,07	2,703
90,365	821	32,707	1872	20,71	3,604

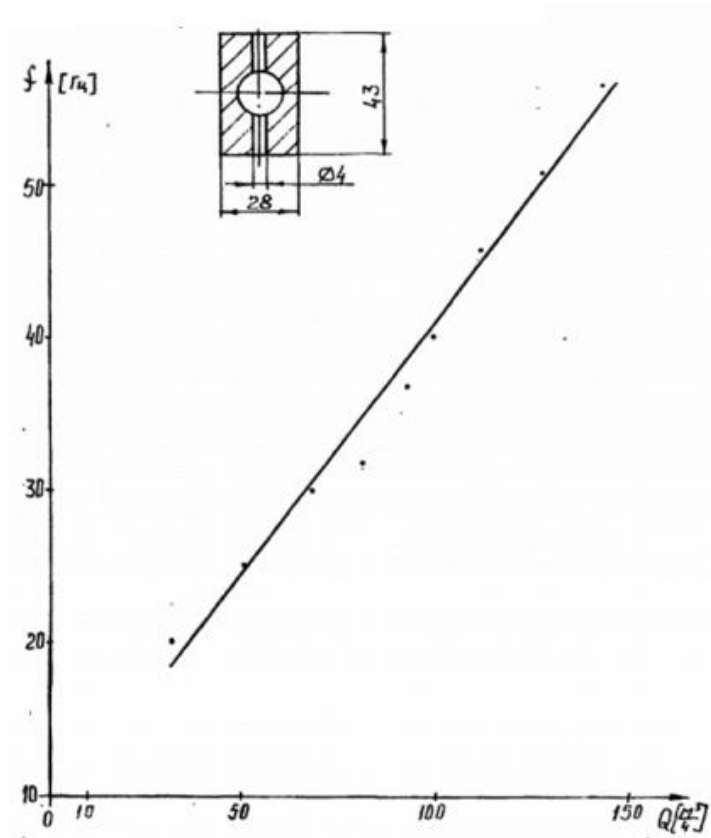


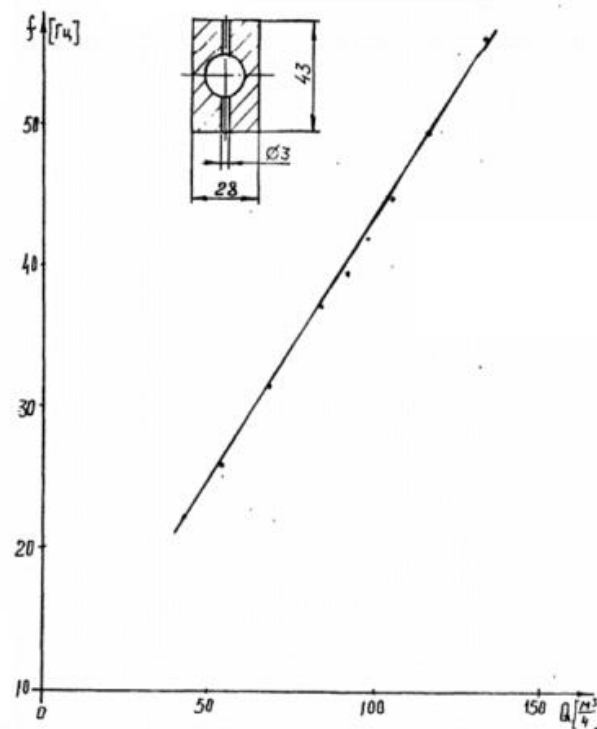
Рис. 2.9 Залежність $f = \varphi(Q)$

Таблиця 2.4

Випробування тіла обтікання

Час виміру Т	Обсяг по баку, л	Витрата м ³ /ч	Кількість імпульсів	Частота Гц	Похибка %
1	2	3	4	5	6
29,736	1096	132,69	1674	56,29	1,321
28,413	1048	132,78	1616	56,87	2,203
31,164	1004	115,98	1543	49,51	0
30,995	996	115,68	1532	49,43	-0,44
35,085	1026	105,27	1571	44,78	-1,321
34,884	1017	104,95	1565	44,86	-0,881
37,705	1022	97,58	1594	42,27	-0,44

1	2	3	4	5	6
37,335	1011,5	97,53	1574	42,16	-0,881
39,683	1014,5	92,03	1567	39,49	-1,762
43,254	1012	84,23	1660	38,84	1,762
43,353	1014,5	84,24	1602	36,95	-0,881
52,79	1011	68,94	1669	31,61	0
52,508	1006	68,97	1649	31,4	-0,44
67,626	1022	54,4	1756	25,97	0,881
67,294	1018	54,46	1790	26,6	-0,44
85,833	1009	42,3	1920	22,37	3,524
85,669	1006	42,27	1990	23,23	2,202

Рис. 2.10 Залежність $f = \varphi(Q)$

Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата
------	------	-------------	---------	------

МД П/4.1.22.000.00

Випробування тіла обтікання

Час виміру Т	Обсяг по баку, л	Витрата м ³ /ч	Кількість імпульсів	Частота Гц	Похибка %
28,845	1095,5	136,72	1664	57,69	1,064
28,490	1078	136,22	1646	57,77	1,329
30,176	1106	131,94	1654	54,51	1,595
30,436	1117	132,12	1695	55,69	0,532
35,428	1174	119,30	1807	51,00	1,329
35,356	1171,5	119,28	1789	50,60	0,798
40,566	1181	104,8	1830	45,11	0,000
40,346	1172,5	104,62	1811	44,89	0,000
44,127	1176	95,96	1847	41,86	1,064
44,295	1180	95,90	1830	41,31	0,000
44,666	1010	81,40	1607	35,98	0,000
44,341	1002,5	81,39	1590	35,86	0,000
55,100	1021	66,70	1701	30,87	0,532
25,750	981	137,15	14663	56,82	-1,064
29,159	1028	127,04	1521	52,16	-3,723
34,512	1026	107,02	1558	45,14	-1,595
38,352	1030	96,68	1618	42,19	0,798
63,289	1008,5	57,36	1723	27,22	0,000
77,808	1010,5	46,75	1800	23,13	0,000

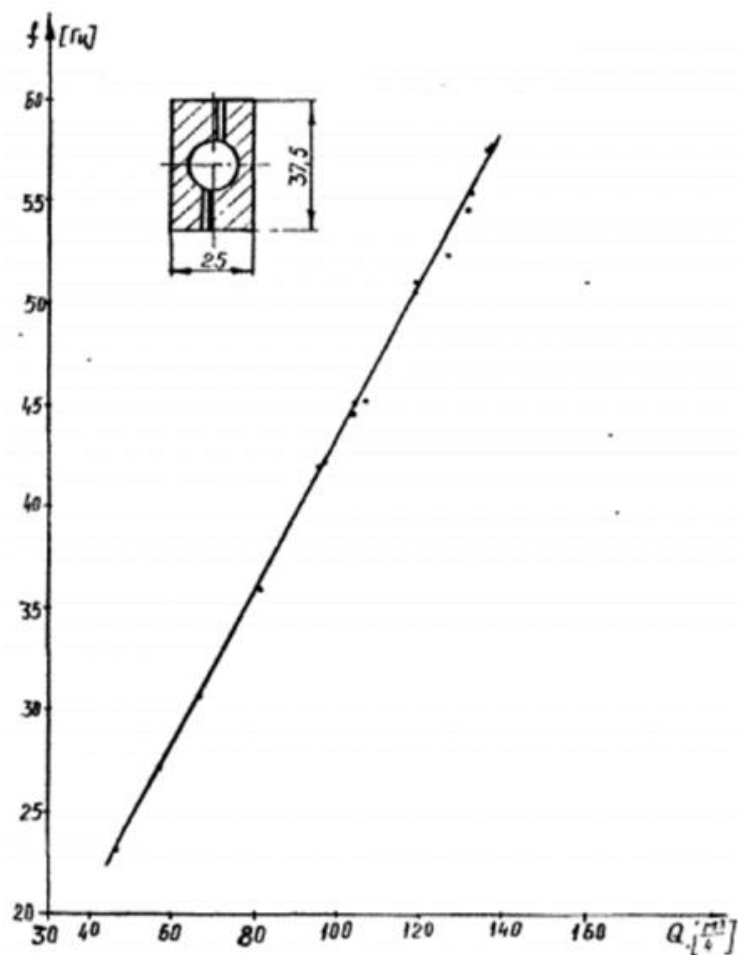


Рис. 2.11 Залежність $f = \varphi(Q)$

Таблиця 2.6

Випробування тіла обтікання

Час виміру, Г	Обсяг по баку, л	Витрата м ³ /ч	Кількість імпульсів	Частота Гц	Похибка %
1	2	3	4	5	6
30,24	1090	129,76	1727	54	0,000
33,04	1193	129,98	1871	54	0,000
32,87	1088	119,16	1704	50	1,896
32,48	1072	118,82	1682	50	2,844
38,9	1118	103,46	1732	42	-2,370

Продовження таблиці 2.6

1	2	3	4	5	6
41,77	1140	98,25	1810	41	-0,948
40,59	1111	98,54	1789	41	-0,948
44,99	1151	92,10	1802	38	1,896
43,8	1120	92,05	1756	40,09	-1,896
50,45	1116	79,63	1778	35	1,043
50,26	1115	79,86	1784	35	0,948
62,75	1106	63,45	1788	28	-0,948
62,49	1102	63,48	1764	28	-0,948
77,66	1098	50,9	1741	22,4	-2,844
77,83	1104	51,065	1761	22,4	-2,844
100,27	1014	36,4	1823	20	2,844
100,34	1013	36,34	1775	20	2,844
26,27	988	135,39	1591	54	-4,265
27,27	1007	132,93	1570	54	-1,896
28,55	1022	128,87	1562	52	-0,711
34,17	1119,5	117,94	1758	50	2,844
34,38	976,5	102,25	1539	42,5	-0,948
36,17	966	96,14	1587	40	-0,0948
42,22	1009,5	86,08	1756	38	2,133
51,46	1000,5	69,99	1628	32	1,896

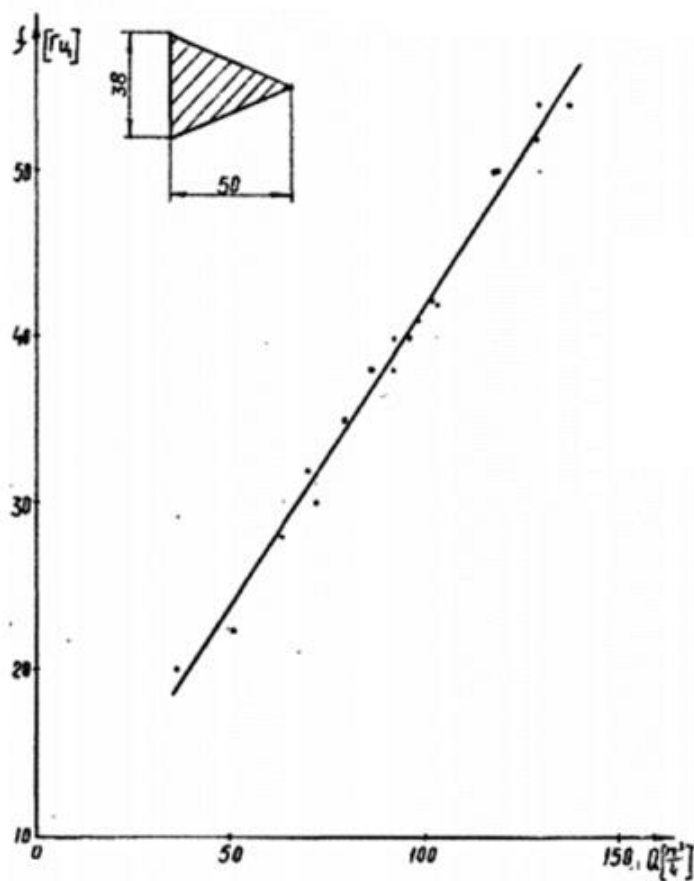


Рис. 2.12 Залежність $f = \varphi(Q)$

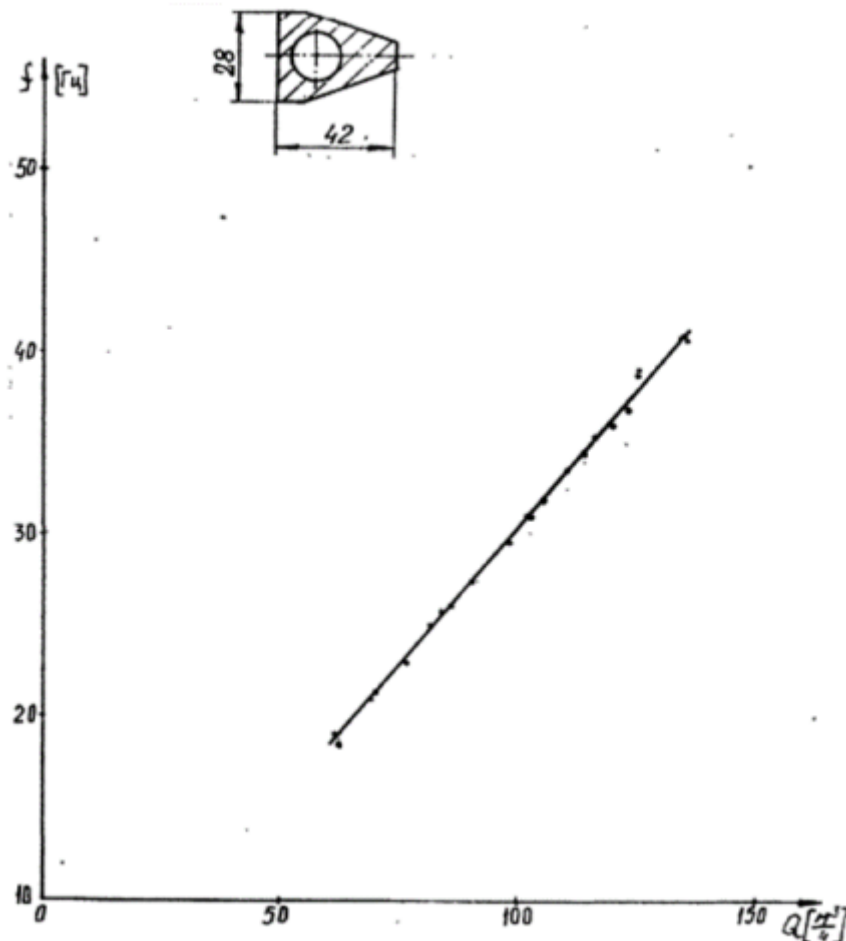
Таблиця 2.7

Час Виміру, Т	Обсяг по баку, л	Витрата $\text{м}^3/\text{ч}$	Кількість імпульсів	Частота Гц	Похибка %
1	2	3	4	5	6
33,44	1117	120,25	1206	36,1	0,97
33,75	1128	120,3	1206	36,0	0,72
37,55	1157	110,9	1257	33,5	1,34
37,36	1152	111,0	1249	33,4	0,97
36,83	1058	103,4	1151	31,25	1,22
37,41	1074	103,3	1167	31,2	1,22
40,28	1105	98,75	1199	29,8	0,97
40,47	1109	98,65	1210	29,9	1,34

Продовження таблиці 2.7

1	2	3	4	5	6
33,98	1166	123,5	1255	36,9	0,62
38,48	972	90,9	1056	27,4	0,77
40,33	1117	90,7	1108	27,5	1,17
48,54	1037,5	76,9	1120	23,1	0,30
50,69	1082	76,84	1173	23,1	0,35
50,67	980	69,6	1062	21,0	0,40
51,10	988	69,6	1076	21,0	0,40
31,06	1041	120,6	1007	34,4	1,46
54,524	937,5	61,9	1042	19,0	1,04
30,357	981	116,3	1074	35,37	2,05
29,235	1101	135,5	1188	40,6	1,04
29,128	1095,5	135,4	1182	40,57	1,04
29,488	1106	135,0	1215	41,2	2,89
33,808	1175	125,1	1279	37,8	1,68
32,308	1125	125,3	1232	38,1	2,25
32,298	1126	125,5	1226	37,95	1,75
35,354	1126	114,6	1225	34,64	1,49
35,347	1126	114,68	1222	34,57	1,24
37,441	1101	105,86	1201	32,07	1,46
35,365	1041	105,9	1140	32,2	1,76
35,369	1040,5	105,9	1135	32,09	1,49
39,526	1135	103,3	1239	31,3	1,46
39,509	1136	103,5	1263	31,96	2,84
48,532	1166	86,4	1275	26,27	1,88
48,452	1164	86,48	1300	26,8	3,95
48,409	1162,5	86,45	1274	26,3	1,29

1	2	3	4	5	6
52,379	1224	84,1	1359	25,9	2,00
50,621	1183,5	84,2	1324	26,2	2,69
60,404	1061	63,2	1171	19,38	1,04
60,402	1062	63,3	1179	19,5	1,27
51,99	1187,5	82,2	1298	24,96	1,06
44,48	1005	81,3	1099	24,7	0,97
53,23	1039,5	70,3	1140	21,4	0,89
53,38	1043,5	70,37	11,49	21,5	1,09

Рис. 2.13 Залежність $f = \varphi(Q)$

Розглядаючи роботу вихрового витратоміра з індукційним зніманням сигналу, можна зробити висновок, що йому притаманні як гідності, так і обмеження вихрового методу вимірювання; основне його достоїнство - це відсутність будь-яких рухомих частин всередині трубопроводу.

Аналізуючи точність роботи вихрового витратоміра з індукційним зніманням сигналу, необхідно врахувати, що при випробуваннях була використана стандартна, а не спеціальна вимірювальна апаратура.

Застосування спеціальної вимірювальної апаратури призведе до підвищення точності і розширення діапазону вимірювання.[18]

Вихровий витратомір з індукційним зніманням сигналу має всі переваги індукційного методу вимірювання витрати.

2.4 Математичне моделювання функціонування засобу вимірювання об'єму та кількості водяної пари

При русі рідини уздовж округлого тіла (тіла обтікання) її потік розділяється, в результаті чого на протилежному боці округлого тіла формуються зони неоднорідного змінного тиску (вихори). Частота змінних вихорів лінійно пропорційна швидкості технологічного середовища.

$$F = a \cdot k \cdot V, \quad (2.40)$$

де, F - частота виникають вихорів, V - швидкість потоку, k - константа пропорційно.

Число Струхала - безрозмірна величина, яка залежить від розміру і форми тіла обтікання. При оптимальній конструкції тіла обтікання число Струхала залишається незмінним в широкому діапазоні чисел Рейнольдса. Рівняння (3.40) може бути переформулювати із застосуванням числа Струхала і діаметра тіла обтікання.[19]

$$F = St \cdot V \cdot d, \quad (2.41)$$

де, St - число Струхала, d - ширина тіла обтікання.

					МД П/41.22.000.00	Лист
						58
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

Щоб визначити об'ємну витрату за допомогою вихрового витратоміра, потрібно помножити швидкість потоку на площу поперечного перерізу витратоміра.

$$Q_v = V \cdot A, \quad (2.42)$$

де, Q_v - об'ємна витрата, A - площа поперечного перерізу.

Щоб визначити площу поперечного перерізу застосовується таке рівняння:

$$A = \frac{\pi D^2}{4}, \quad (2.43)$$

де, D - внутрішній діаметр витратоміра.

К-фактор вихрового витратоміра - це константа пропорційності, що застосовується, щоб визначити ставлення виміряної частоти до об'ємній витраті. К-фактор визначається під час калібрування в пролівочній лабораторії, де підраховують число імпульсів від вихрового витратоміра в залежності від обсягу технологічного середовища, що пройшла через прилад, щоб визначити величину К-фактора як кількість імпульсів на одиницю об'єму. Об'єднавши два попередніх рівняння, отримуємо підсумкове рівняння вихрового витрати.

$$Q_v = F \cdot \left(\frac{\pi D^2}{4}\right) \cdot d \cdot St. \quad (2.44)$$

Далі площа, ширина тіла обтікання і число Струхала замінюються на Кфактор.

$$Q_v = F \cdot K. \quad (2.45)$$

Якщо відомий К-фактор, то можна визначити витрата, вимірявши частоту вихорів. Крім того, виходячи з даних рівнянь, можна визначити об'ємний витрата незалежно від таких характеристик технологічного середовища, як тиск, температура, щільність і в'язкість. К-фактор залежить тільки від геометрії витратоміра.

					МД П/4.1.22.000.00	Лист
						59
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

Залежність К-фактора від числа Рейнольдса.

Як було відзначено, число Струхала залишається незмінним в широкому діапазоні чисел Рейнольдса. Отже, К-фактор також залишається незмінним в широкому діапазоні чисел Рейнольдса, що підтверджують рівняння (2.44) і (2.45). Однак якщо число Рейнольдса стає менше 20 000 (15 000 для газів і пара), К-фактор стає нелінійним. Нелінійність цієї залежності визначається щільністю і в'язкістю технологічного середовища.

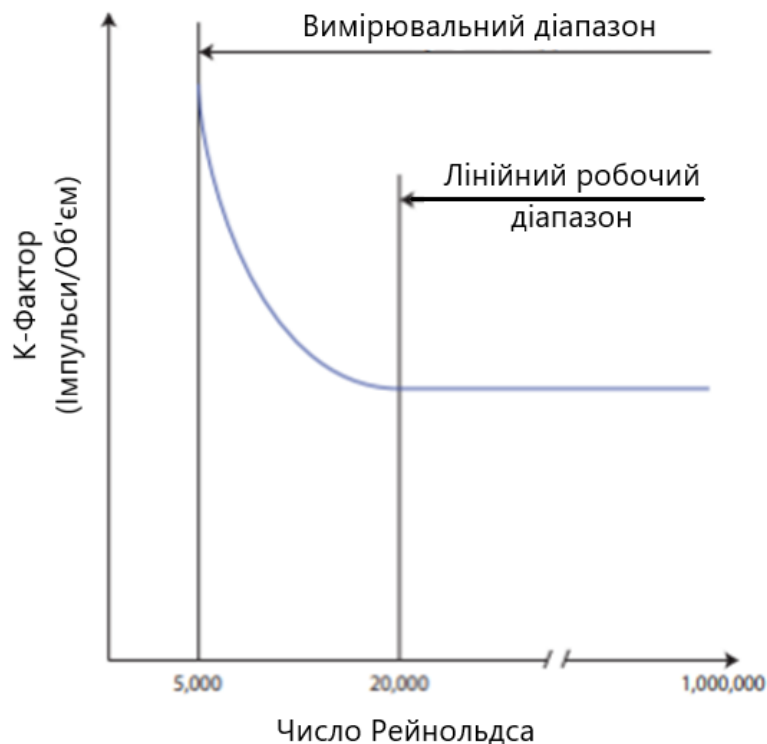


Рис. 2.14. Залежність К-фактора від числа Рейнольдса

Число Рейнольдса - це безрозмірна величина, що характеризує відношення сил інерції до сил в'язкості середовища. Застосовується для визначення меж ламинарного і турбулентного потоків.

$$Re = \rho \cdot V \cdot D \cdot \mu, \quad (2.46)$$

де, Re - число Рейнольдса, ρ - густина середовища, V - швидкість потоку, D - внутрішній діаметр витратоміра або труби, μ - в'язкість середовища.[20]

Турбулентний потік необхідний для створення вихорів за тілом обтікання. Турбулентний потік виникає, коли число Рейнольдса становить близько 4 000. Для

					МД П/4.1.22.000.00	Лист
						60
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

формування повноцінного турбулентного потоку вона повинна складати близько 10 000, що є оптимальним нижнім граничним значенням для вихрових витратомірів. Рівняння (2.46) показує, що число Рейнольдса зростає з прискоренням потоку. Крім того, з нього випливає, що підвищення щільності призведе до збільшення цього числа, а підвищення в'язкості призведе до його зменшення. Середовища з високою в'язкістю ускладнюють роботу вихрових витратомірів, тому що їх витрата характеризується низькими числами Рейнольдса.

Амплітуда і сила вихрового сигналу.

Як зазначалося, для роботи вихрових витратомірів необхідний турбулентний потік і, отже, деяке мінімальне число Рейнольдса для створення вихорів. Крім того, сигнал витрати повинен мати амплітуду або силу не нижче встановлених мінімальних. Амплітуда (сила) сигналу вихрового витратоміра пропорційна щільності і швидкості технологічного середовища.

$$SA = \frac{a \cdot \rho \cdot V}{2}, \quad (2.47)$$

де, SA - амплітуда (сила) вихрового сигналу.

Вихори повинні бути здатні передати досить сили і енергії сенсора, щоб він зміг виміряти їх частоту. Термін ρV^2 в рівнянні (2.47) є мірою енергії в потоці, тому що він залежить від кінетичної енергії.

Винайдемо витрату використовуючи математичну модель та формулу 2.44

Таблиця 2.8

Витрата

Q, м/с
0,002747
0,010793
0,021586
0,035322
0,53964

					МД П/4.1.22.000.00	Лист
						61
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

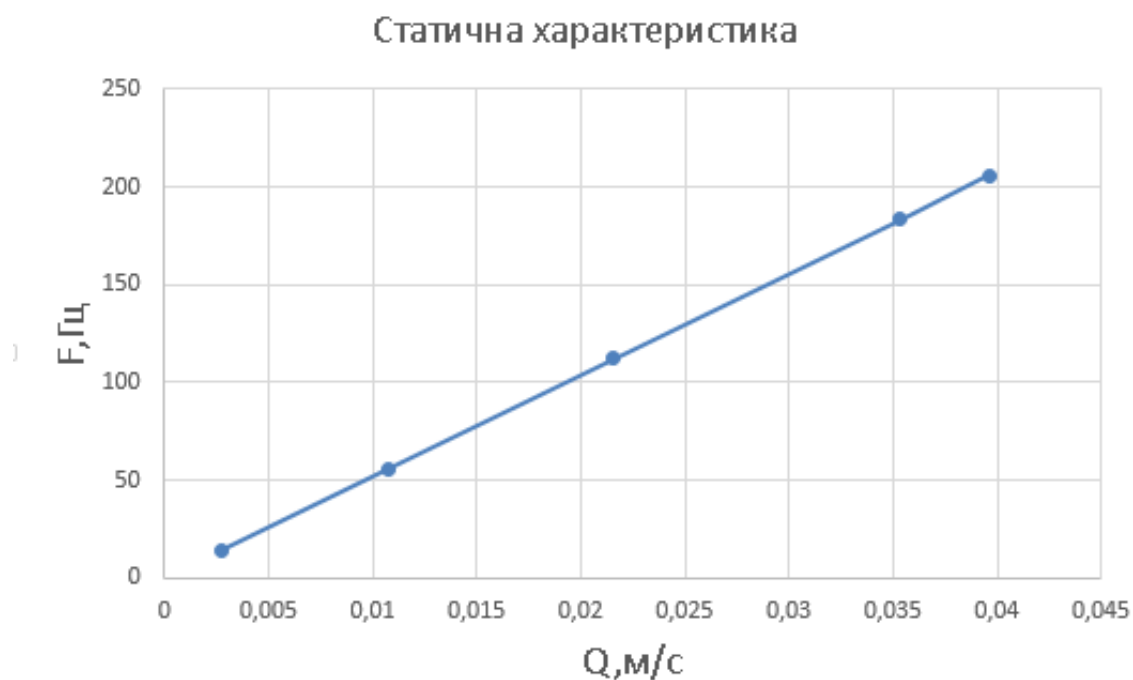


Рис.2.15 Статична характеристика витратоміра

Розрахуємо відносну похибку за формулою :

$$\delta = Q_B - Q_3 \cdot Q_B \cdot 100\%, \quad (2.48)$$

де, Q_B – знайдена витрата, Q_3 – зразкова витрата

Таблиця 2.9

Похибка

F, Гц	δ , %
14.28571	2.941176
56.12245	5.982906
112.2449	2.222222
183.6735	1.639344
280.6122	0.722022

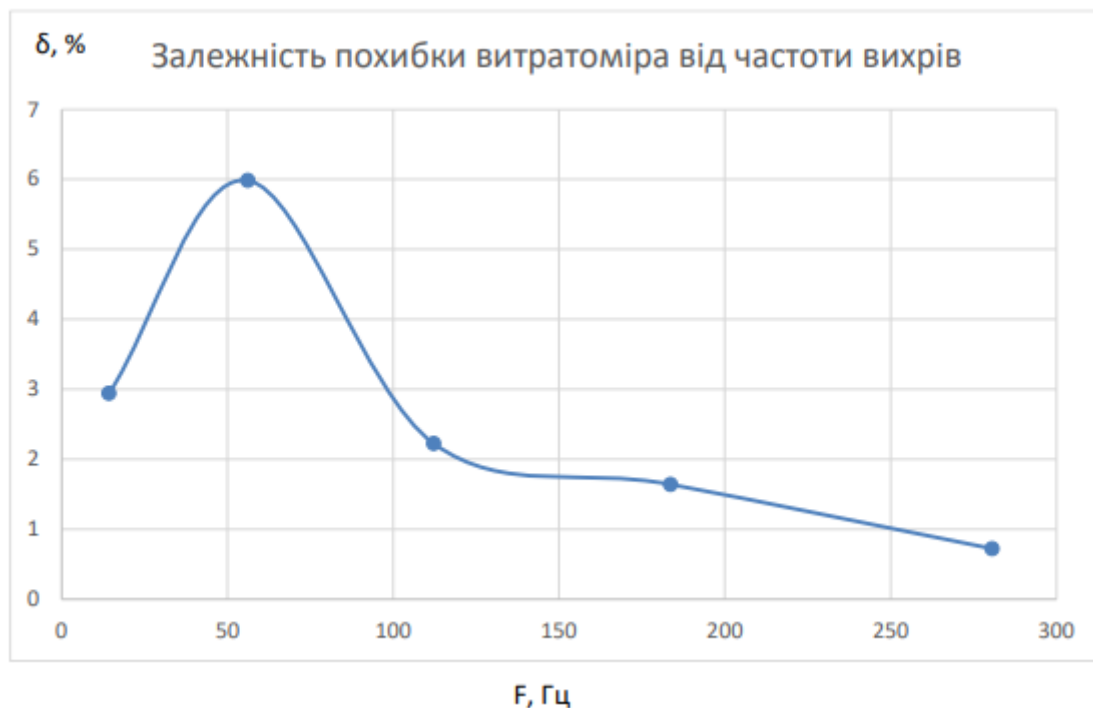


Рис. 2.16 Залежність похибки від частоти вихроутворення

2.5 Висновки до розділу 2

Розроблено математичну модель процесу зміни параметрів перегрітого і насиченої водяної пари на ділянці паропроводу, що відрізняється від існуючих використанням отриманих на основі довідкових даних апроксимаційних залежностей як рівнянь станів.

Досліджені вихрові витратоміри з індуктивним зйомом сигналів, основною перевагою яких є відсутність рухомих частей у тробопроводі.[12]

У порівнянні з застосовуваними електромагнітними витратомірами розглянутий вихровий витратомір з індукційним зніманням сигналу має наступні переваги:

- а) меншою споживаною потужністю;
- б) високою чутливістю;
- в) більш широким діапазоном вимірювання;

г) наявністю частотного вихідного сигналу, що дозволяє вимірювати величину ЕРС на електродах, а наявність і відсутність її, що підвищує чутливість методу вимірювання та дозволяє відкинути ряд перешкод, властивих цьому методу.

					МД П/4.1.22.000.00	Лист
						63
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

РОЗДІЛ 3

ВІРТУАЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Віртуальне моделювання міцно увійшло в технічний арсенал дизайнерів, архітекторів, машинобудівників та інших фахівців. Вже найперші пакети серії САД надавали досить широкі можливості для формоутворення, але істинно моделюючими їх зробила візуалізація, оригінальний спосіб подачі каркасних об'єктів у вигляді оболонок. Нехитрі алгоритми трасування променів падаючого і відбитого «світла» створили переконливу ілюзію уявного простору, що спостерігається через об'єктив «фотокамери». Поява «Редактора матеріалів», що дозволив імітувати найтонші нюанси реальних поверхонь, починаючи від ступеня їх прозорості та параметрів відображення до рельєфності і шорсткості, вивело візуалізацію на абсолютно новий рівень.

Задумана як сервісного допоміжного модуля для середовища проектування візуалізація стрімко проникла в найрізноманітніші сфери діяльності. Можливість створення ідеального образу авторської моделі без використання допоміжних виробництв захопила не тільки дизайнерів і конструкторів.

3.1 Методи та засоби моделювання взаємодії потоків рідин і газів з вимірювальним перетворювачем

Сучасний інтерес до дослідження течій багатофазних незмішуваних середовищ пов'язаний з великою кількістю практичних проблем, що виникають в таких областях, як кораблебудування, автомобілебудування, атомна промисловість, виробництво шин. Знаходження аналітичного рішення для більшості індустріальних завдань не представляється можливим, а проведення натурного експерименту часто дуже затратно і не завжди може дати відповіді на поставлені питання, тому найбільш перспективним напрямком в цій галузі є розвиток чисельних методів дослідження.

В даний час склалося кілька основних способів моделювання руху незмішуваних фаз. У першому, підході Лагранжа, сітка «притерта» до кордону розділу фаз («вільної поверхні», як часто її називають). При деформації вільної

					МД ПІ4.1.22.000.00	Лист
						65
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

поверхні сітка змінюється разом з нею. Surface marker (line segments) метод використовує даний підхід. Контактна поверхня визначається як набір пов'язаних точок або лінійних сегментів. Необхідно зберігати координати для кожної точки, і відстань між ними обмежити розміром осередку. Деформація вільної поверхні визначається сукупним зміною положення кожної точки, рух яких визначається локальною швидкістю, інтерпольованої по сітці. Виникає дуже серйозна проблема при самоперетині двох і більше поверхонь. У цьому випадку необхідно перевизначити сегменти, ймовірно з додаванням або видаленням елементів. У загальному випадку процес ідентифікації самоперетинів і перевизначення сегментів може виявитися нетривіальним завданням. Перехід від 2D до 3D постановці також складний. До переваг методу можна віднести відсутність чисельної дифузії і розмазування кордону розділу.

Іншим різновидом підходу Лагранжа є не сітковий метод згладжених частинок (SPH). Метод SPH працює шляхом ділення рідини на дискретні елементи. Ці частинки мають просторове відстань (відоме як «довжина згладжування»), на якому їх властивості «згладжуються» функцією ядра. Це означає, що будь-яка фізична величина будь-якої частинки може бути отримана шляхом підсумовування відповідних величин всіх частинок, які знаходяться в межах двох згладжених довжин. Призначаючи кожній частинці її власну довжину згладжування і дозволяючи їй змінюватися з часом, роздільна здатність симуляції може автоматично підлаштовувати себе до локальних умов. SPH гарантує збереження маси без додаткових обчислень, так як частинки самі по собі представляють масу. Також SPH обчислює тиск від впливу сусідніх частинок, іменіх масу, а не вирішує систему лінійних рівнянь. Вплив кожної частки на властивості оцінюється відповідно до її щільністю і відстанню до цікавить частки. Збереження маси гарантується без додаткових обчислень. Недолік SPH в порівнянні з заснованими на сітці методиками полягає в тому, що необхідна велика кількість частинок для створення симуляції з еквівалентної роздільною здатністю.[22] Однак точність

					МД П/4.1.22.000.00	Лист
						66
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

розрахунку може бути значно збільшена при використанні SPH в сукупності з заснованими на сітці методиками.

Прикладом такого об'єднання є метод маркерів і комірок (MAC). Замість безпосереднього завдання вільної поверхні, розглядається область, заповнена рідиною, у яку «вмораживали» маркерні осередки. При цьому кожна з них пересувається зі швидкістю фази, яка визначається за інтерполяцією ейлерової сітки. Кордон розділу знаходиться між областями, що містять і не містять маркери (точне положення визначається за допомогою додаткових обчислень, заснованих на кількості маркерів). Проблемою методу є надмірна концентрація або дисперсія часток по осередках, а також вимоги до комп'ютерних ресурсів для зберігання великої кількості інформації і розрахунку переміщення кожної частки.

Херт запропонував замість розрахунку великої кількості частинок ввести спеціальну функцію f . При наявності фази в точці значення цієї функції дорівнює одиниці, при відсутності - нуль. Середнє значення f в осередку визначає відносний обсяг, який займає фаза (Volume of Fluid). При $VOF = 1$ осередок повністю заповнена рідиною, при $VOF = 0$ - газом, при $0 < VOF < 1$ містить вільну поверхню. На відміну від MAC, в методі Volume of Fluid необхідно зберігати в комірці тільки одну змінну. [23]

Важливою частиною методу є алгоритм реконструкції вільної поверхні на основі значень f . Існує кілька основних підходів:

а) Simple Line Interface Calculation (SLIC)

У SLIC методі межа розділу фаз є вертикальною або горизонтальною прямою і визначається з величини f у сусідів

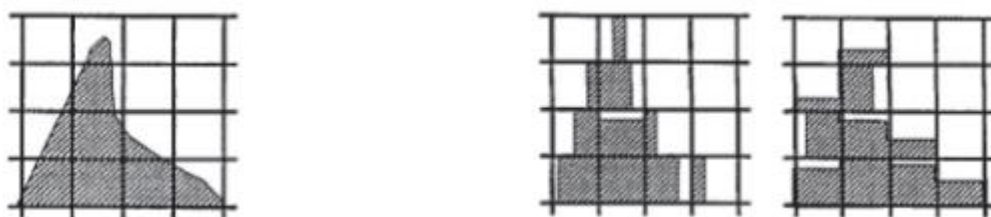


Рис. 3.1 Варіанти SLIC реконструкції

b) Parker and Young's method

В даному методі поверхню представляється у вигляді прямої, нахил якої визначається з виразу (Рис. 3.2):

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{-\partial f / \partial x}{\partial f / \partial y} \quad (3.1)$$

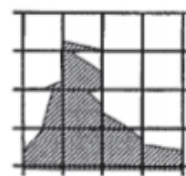


Рис.3.2 Р & У реконструкція

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \frac{f_E - f_W}{2}, \frac{\partial f}{\partial y} = \frac{f_N - f_S}{2} \quad (3.2)$$

$$f_E = \frac{1}{2+a}(f_{i+1,j-1} + a \cdot f_{i+1,j} + f_{i+1,j+1}), f_W = \frac{1}{2+a}(f_{i-1,j-1} + a \cdot f_{i-1,j} + f_{i-1,j+1}) \quad (3.3)$$

$$f_N = \frac{1}{2+a}(f_{i-1,j+1} + a \cdot f_{i,j+1} + f_{i+1,j+1}), f_S = \frac{1}{2+a}(f_{i-1,j-1} + a \cdot f_{i,j-1} + f_{i+1,j-1}) \quad (3.4)$$

c) Least squares volume-of-fluid reconstruction algorithm (LVIRA)

Розглядається блок осередків 3x3. Кут нахилу визначається з умови мінімізації функції:

$$E_{i,j}^2(\operatorname{tg} \beta) = \left(\sum_{k,l=-1}^1 (\bar{f}_{i+k,j+l}(\operatorname{tg} \beta) - f_{i+k,j+l})^2 \right)^{1/2}, \quad (3.5)$$

де $\bar{f}_{i+k,j+l}(\operatorname{tg} \beta)$ - величина VOF, відсікає у всіх осередках при побудові кордону

розділу фаз з кутом нахилу β . Прості чисельні експерименти показують значною перевагу якості трекінгу вільної поверхні P & Y і LVIRA над SLIC методом.[24]

Метод VOF швидко завоював популярність завдяки своїм скромним обчислювальним вимогам і теоретично можливої консервативності. За градієнту функції VOF легко відновлюється нормаль до вільної поверхні, а за допомогою самої функції VOF - її положення. Його недоліком є схемне диспергування фази, яке є наслідком розмазування фронту функції VOF через схемної в'язкості.

Для подолання цього ефекту був розроблений метод Level Set. У ньому також вводиться спеціальна функція $\phi(x,t)$ - відстань до вільної поверхні. При $\phi(x,t) < 0$ область заповнена газом, при $\phi(x,t) > 0$ - рідиною. Вільна поверхня є набір точок, в яких $\phi(x,t) = 0$. Для завдання розриву щільності і в'язкості на кордоні розділу фаз застосовується функція Хевісайда. Нове положення вільної поверхні визначається з конвективного рівняння для $\phi(x,t)$. Перевагою методу є хороша точність у визначенні геометричної форми контактної кордону. З консервативності рішення рівняння переносу для $\phi(x,t)$ не слід консервативність маси. Цей ефект є головним недоліком методу Level Set. До того ж метод погано застосовуємо саме для завдань, де диспергування і фрагментація рідини фізично можливі. Також не можна коректно поставити граничні умови на вході рідини в розрахункову область.

У ряді досліджень зроблені спроби створення спільного Level Set і VOF методу, який поєднує переваги обох підходів. Загальна схема складається з наступних етапів:

- 1) Реконструкція функції f за значенням нормалі $n = \nabla\phi/|\nabla\phi|$
- 2) Конвективний перенесення f і $\phi(x,t)$.
- 3) Побудова реконструкції $\phi(x,t)$ на основі f
- 4) Обчислення значень $\rho(\phi)$ і $\mu(\phi)$
- 5) Рішення рівнянь Нав'є - Стокса

Таким чином, метод дозволяє поєднати консервативність VOF і хорошу точність відстеження форми вільної поверхні методу Level Set, однак вимагає більш складної і тонкої алгоритмічної реалізації.[25]

					МД П/41.22.000.00	Лист
						69
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

3.2 Застосування 3D технологій до оцінювання роботи виміру перетворення витрати

Вихреутворення у трубопроводі через тіло обтікання

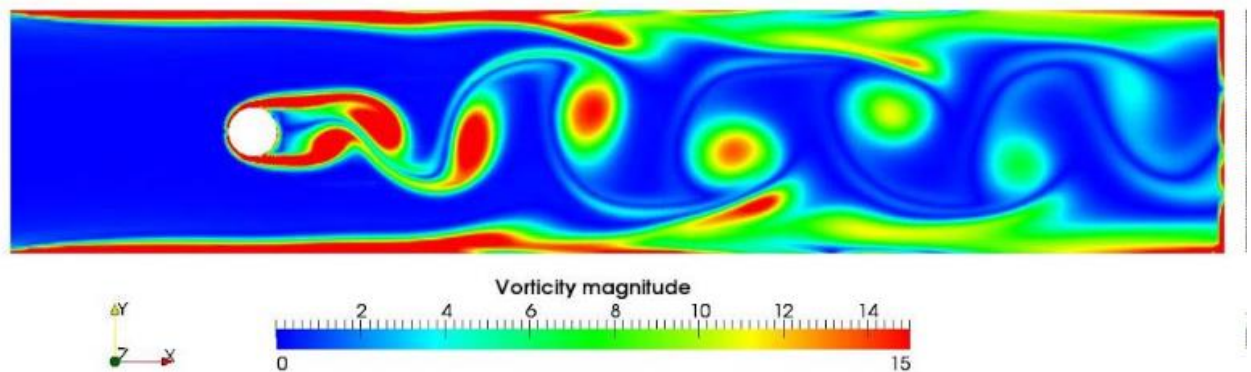


Рис.3.5 Вихреутворення

Проведемо моделювання швидкості потоку пари (рис.3.6)

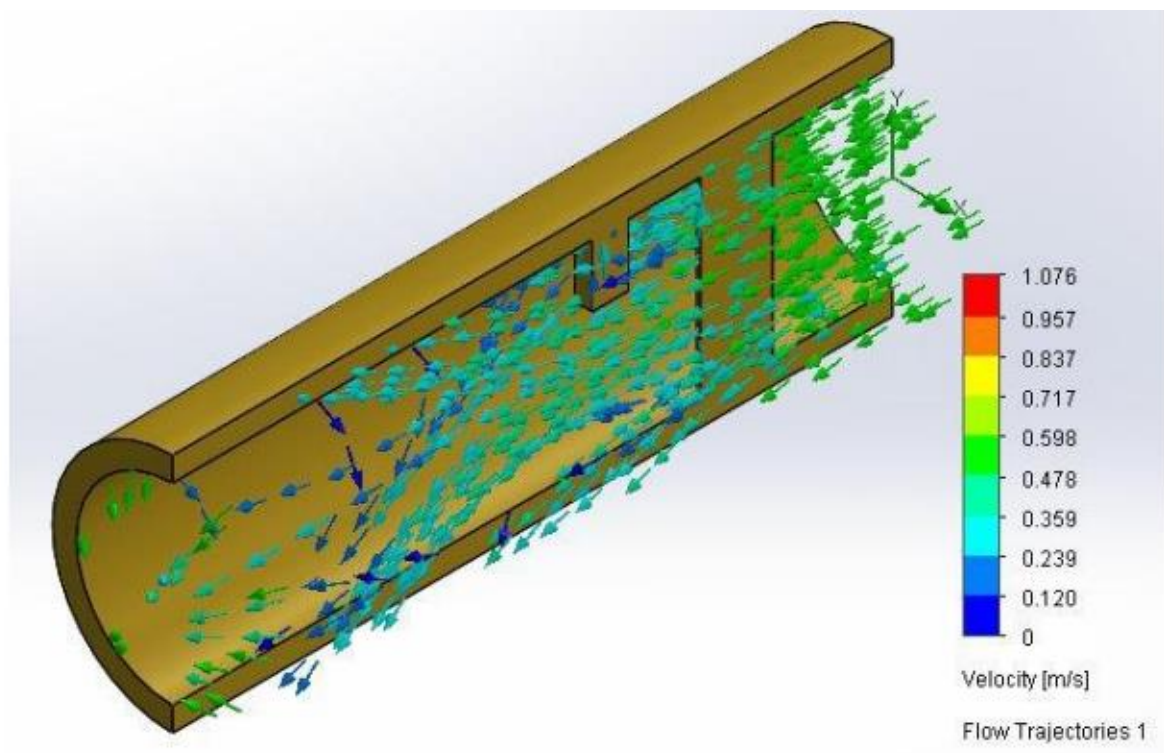


Рис.3.6 Рух потоку від швидкості

Як ми бачемо при утворенні вихрів швидкість потоку зменшується, але вона стабільна і частота утворення вихрів пропорційна швидкості.

Також промодельюємо вплив тиску та температури на потік.

					МД П/4.1.22.000.00	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		70

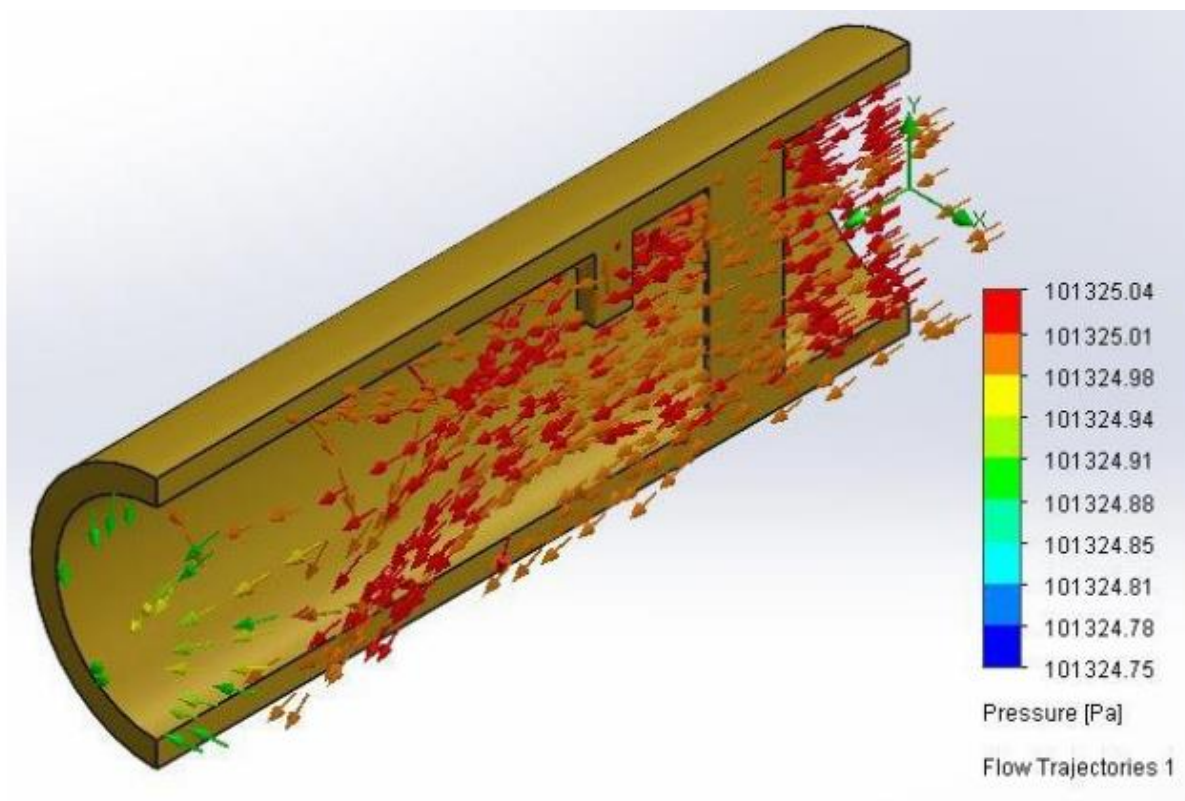


Рис.3.7 Рух потоку від тиску

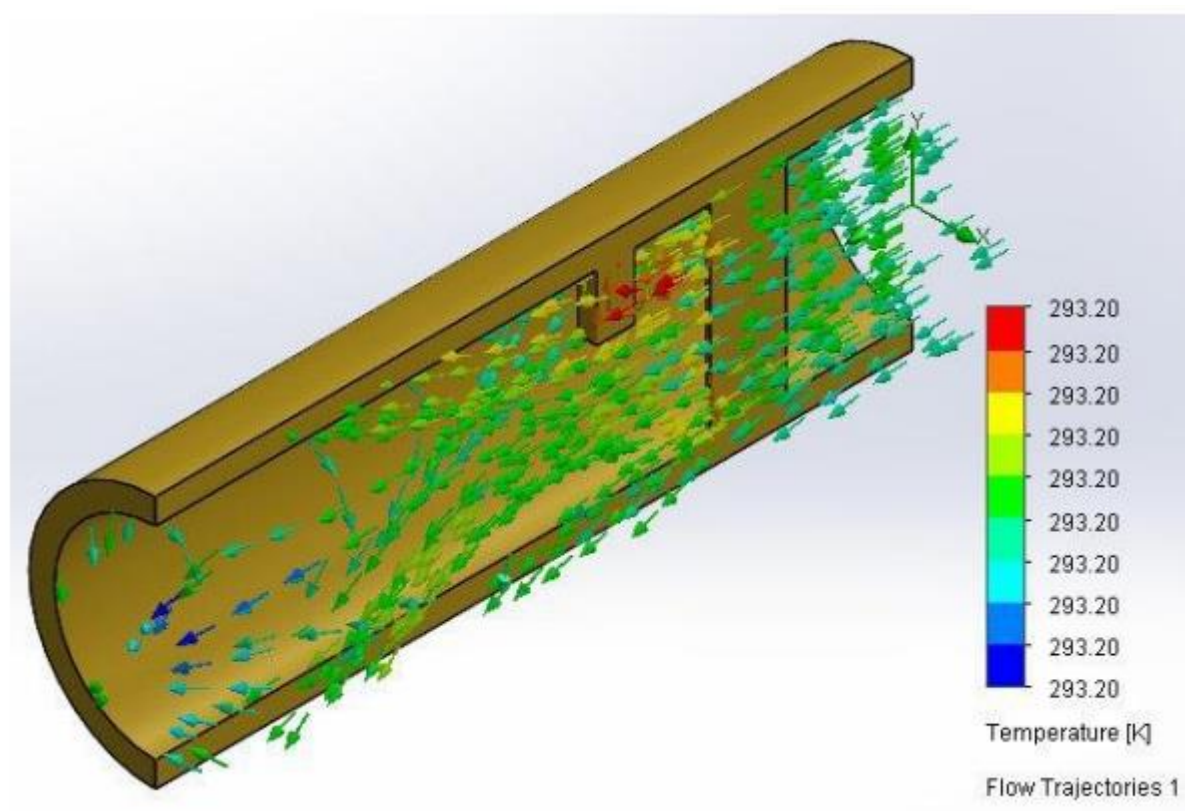


Рис. 3.8 Рух потоку від температури

3.3 Висновки до розділу 3

Віртуальне моделювання дозволяє нам без необхідності проектування випробувального стенду наглядно побачити стан середовища під час проходження по трубопроводу та через витратомір. Ми можемо спостерігти різні властивості вимірюючого середовища. Це є одним з найвигідніших та швидким методом дослідження середовищ та тестування приладів.

					МД ПІ41.22.000.00	Лист
						72
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ «ПРИЛАД ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ОБ'ЄМУ ТА ОБ'ЄМНОЇ ВИТРАТИ ВОДЯНОЇ ПАРИ»

4.1 Опис ідеї проекту

Розглянувши в попередніх розділах метод визначення об'єму та об'ємної витрати водяної пари, був розроблений вихровий витратомір. В цьому розділі буде проведено аналіз стартап проекту «Прилад для визначення об'єму та об'ємної витрати водяної пари»

Вихрові витратоміри різних виробників при вимірюванні вологої пари поводяться неоднаково. Це визначається як конструкцією первинного перетворювача витрати, принципу детектування вихорів, електронної схеми, так і особливостями програмного забезпечення. Принциповим є вплив конденсату на роботу чутливого елемента. У деяких конструкціях «серйозні проблеми виникають при вимірюванні витрати насиченої пари, коли одночасно в трубопроводі існує газова і рідка фаза. Вода концентрується уздовж стінок труби і перешкоджає нормальному функціонуванню датчиків тиску, встановлених врівень зі стінкою труби ". В інших конструкціях конденсат може затоплювати сенсор і блокувати вимірювання витрати зовсім. Зате у деяких витратомірів це практично не впливає на показання. Крім цього, двофазний потік, набігаючи на тіло обтікання, формує цілий спектр вихрових частот, пов'язаних як зі швидкістю газової фази, так і зі швидкостями рідкою фазою (крапельної форми ядра потоку і плівковою або струменівної пристіночної області) вологого насиченого пара. При цьому амплітуда вихрового сигналу рідкої фази може бути досить значною і, якщо електронна схема не передбачає цифрової фільтрації сигналу з допомогою спектрального аналізу і спеціального алгоритму виділення «істинного» сигналу, пов'язаного з газовою фазою потоку, що характерно для спрощених моделей расходометров, то буде відбуватися сильне заниження показань витрати. Кращі моделі вихрових витратомірів мають системами DSP (цифрової обробки сигналу) і SSP

					МД П/4.1.22.000.00	Лист
						73
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

(спектр льно обробки сигналу на основі швидкого перетворення Фур'є), які дозволяють не тільки підвищити відношення сигнал / шум, виділити «істинний» вихровий сигнал, але і усунути вплив вібрацій трубопроводу та електричних розрядів.

Незважаючи на те, що вихрові витратоміри призначені для вимірювання витрати однофазної середовища, в роботі показано, що вони можуть бути використані для вимірювання витрати двофазних середовищ, в тому числі, пара з краплями води при деякій деградації метрологічних характеристик.

У таблиці 4.1 зображено зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів.

Таблиця 4.1

Опис ідеї стартап проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
1	2	3
Пропонується новий прилад для визначення об'єму та об'ємної витрати водяної пари	1. Хімічний;	Надійність і стабільність в роботі і простота в управлінні;
	2. Нафта і газ;	Низьке енергоспоживання допускає їх користування в віддалених районах при двухпроводной схемою підключення;
	3. Водопостачання та водовідведення.	Можливість метрологічної діагностики приладу в процесі експлуатації без зупинки потоку;
	4. Нафтохімічний;	Віддалена передача даних, налаштування, перевірка і діагностика через Modbus RTU по інтерфейсах RS-485, Hart і USB; фірмове ПО;

1	2	3
	5. Харчові продукти та напої: - рафінадні заводи; - пивоварні заводи; - молочні заводи; - виробництво	Стабільність вимірювання при зміні показників температури і тиску;
	6. - безалгокольних напоїв.	
	7. Електростанції: - повітря; - поглинання тепла; - обігрів; 8. - охолодження.	Висока метрологічна стабільність вимірювань; вимірювання з вмістом газової фази до 15%;

Отже, пропонується новий прилад який має багато напрямків застосування, та має вигоди для застосування користувачами. Основна відмінність данного приладу те, що він не потребує постійної перекалібровки в ході всієї його найтривалішою експлуатації. Тому його технічне обслуговування під час всього терміну служби мінімально.

Далі проводимо аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями конкурентів:

- визначаємо перелік техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї;
- визначаємо попереднє коло конкурентів (проектів-конкурентів) або товарів-замінників чи товарів-аналогів, що вже існують на ринку, та проводимо збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів-конкурентів відповідно до визначеного вище переліку;
- проводимо порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначено показники, що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні) (табл. 4.2).

Таблиця 4.2

Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№	Техніко-економічні властивості	(потенційні) товари/концепції конкурентів			W	N	S
		Мій прилад	Конкурент 1 – компанія «ЭМИС»	Конкурент 2 – компанія Dymetic			
1	Похибка	не перевищує 1%	Для пари не перевищує 1%, для рідин - 0,5%	1,5%	-	-	+
2	Температура вимірювальної середи	-200 до 427°C	повинна бути нижче 460 °C	від 4 до 150 °C	-	-	+
3	Тиск вимірювальної середи	не перевищува ти 1,6 МПа	не перевищува ти 6,4 МПа	від 0,1 до 1,6 МПа	-	+	-
4	Вимірюваний діапазон витрати	від 0,4 до 120 м3 / год	від 1 до 250 м3 / год	2 - 5200 м3 / год	+	-	-
5	Ергономічність	Зручний у користуван ні	Зручний у користуван ні	Зручний у користуванні	+	+	+
6	Мобільність	Мобільний	Мобільний	Не мобільний	+	+	-
7	Ціна	15000грн	20000грн	50000 грн	+	-	-

Виходячи з наведеного переліку слабких, сильних та нейтральних характеристик і властивостей ідеї потенційного товару можна дійти до висновку про конкурентоспроможність запропонованого методу. Прилад розроблений мною має багато переваг перед своїми аналогами. Мій прилад має найнижчу ціну та він більш економічно вигідний, а також має найменшу похибку.

4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу проводимо аудит технології за допомогою якої можна реалізувати ідею створення проекту.

					МД П/41.22.000.00	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		76

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз складових які вказані в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3

Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Дослідження вимог до засобів реєстрації водяної пари	Лабораторна установка	Лабораторна установка розроблена	Доступна
2	Аналіз методів та засобів вимірювання витрат водяної пари	Лабораторна установка	Лабораторна установка, розроблена	Відносно доступна
3	Перевірка ефективності результатів дослідів	Методи статистики	Розроблена	Доступна
4	Розробка приладу, на основі проведених досліджень	Механічна обробка, електричний монтаж елементів	Технологія розроблена	Відносно доступна

Проаналізувавши таблицю можна зробити висновок що можливість технологічної реалізації даного проекту висока. Оскільки, технології, що використовуються при розробці продукту відносно доступні та включають поєднання існуючих доступних приладів та засобів математичної статистики, але треба більш детально дослідити метода вимірювання витрати за допомогою вихрового витратоміра.

4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту

Визначимо ринкові можливості, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкові загрози, які можуть перешкодити його реалізації.

Спочатку проведемо аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (таблиця 4.4).

Таблиця 4.1

Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
Кількість головних гравців, од	3 Компанії Endress + Hauser (Німеччина), Yokogawa Electric (Японія) і EMCO (США)
Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	5000000
Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
Наявність обмежень для входу	Практичне застосування
Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Відсутні
Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	60%

За результатами таблиці можна зробити висновки, що вихід на ринок є рентабельним. Мала кількість гравців про легкий вхід на ринок. Високий процент рентабельності дає змогу швидко відбити затрачені кошти на розробку приладу.

Надалі визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 4.5).

Таблиця 4.2

Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1.	Розробка нового приладу для вимірювання витрат водяної пари	Промислові підприємства на яких є необхідність контролю витрати водяної пари	Особливості викликані зі специфікою проведення дослідів	Надійність приладу та висока точність показників

Після визначення потенційних груп клієнтів проводимо аналіз ринкового середовища: складаємо таблиці факторів що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають (табл. № 4.6-4.7) Фактори в таблиці подано в порядку зменшення значущості

Таблиця 4.3

Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Нові фірми конкуренти	Збільшення конкурентоздатної продукції на ринку	Вдосконалення товару; маркетингова діяльність.
2	Нові технології	Застарілість товару	Кардинальні зміни у технології виготовленні, що призведуть до модернізації
3	Технічне обслуговування	Наявність не уніфікованих елементів	Використання уніфікованих елементів

Основними факторами, що перешкоджають ринковому впровадженні проекту є: нові технології, конкуренція та технічне обслуговування. Але поряд із колом загроз існують і певні можливості (таблиця 4.7).

Таблиця 4.4

Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	2	3	4
1	Високий попит на продукцію	Доцільно збільшити виробництво товару та товарообіг	Збільшення одиниць товару, впровадження модифікацій товару.
2	Потреба в доступній методиці	Актуальна розробка з низькою собівартістю	Залучення іноземних інвестицій.

1	2	3	4
3	Зростання рівня доходів населення	Збільшення кількості продажів, підвищення ціни	Збільшення одиниць товару, підвищення ціни.
4	Впровадження нових технологій	Якісне покращення основних параметрів продукту	Підвищення попиту та ціни

Після проведеного аналізу факторів можливостей та загроз можна сказати, що ринок приладів для виміру об'єму та об'ємної витрати водяної пари є перспективним та цікавим для входу нових компаній.

Надалі проводимо аналіз пропозиції: визначаємо загальні риси конкуренції на ринку (табл. 4.8).

Таблиця 4.5

Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1	2	3
1. Чиста конкуренція	Окремі покупці і продавці не можуть впливати на ціну.	Концентрація діяльності підприємства на якість товару.
2. Національна конкуренція	Між компаніями всередині країни.	Варіація об'ємів виробництва,
3. Внутрішньогалузева конкуренція	Конкурентна боротьба між підприємствами в межах однієї галузі.	Формування адекватної ринкової вартості товару.
4. Товарно-видова конкуренція	Конкуренція між товарами одного виду.	Створення модифікацій з покращеним функціоналом.
5. Нецінова конкуренція	Вдосконалення якості продукції та умов її продажу.	Зміни у виробництві; додаткові витрати, підвищення рівня довіри клієнтів.

1	2	3
6. Марочна конкуренція	Конкурентні компанії пропонують подібний продукт.	Зниження цін на товар; концентрація діяльності на якісну зміну продукту. Створення власної торгової марки.

За результатами аналізу таблиці 4.8 можна зробити висновок, що запропонована конструкція демонструє високу конкурентоспроможність. Найбільш небезпечними бачаться товарно-видова. Оскільки товари аналоги виготовляють з урахуванням довгого перебування на ринку мають досить високий рівень довіри клієнтів.

Після аналізу конкуренції проведемо більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі.

Таблиця 4.6

Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	Endress + Hauser, EMCO	Yokogawa Electric	Rosemount, Змінні витрати постачальників. Концентрація постачальників	Yokogawa Electric	Аналогічні дослідження конкурентів
Висновки:	Конкуренція невелика	Є можливості входу в ринок. Є потенційні конкуренти. Строк виходу на ринок орієнтовно 10 місяців	Постачальники не диктують умови роботи ринку.	Клієнти не диктують умови роботи на ринку	Обмежень для роботи на ринку через товари замінники немає

З огляду на конкурентну ситуацію (враховуючи низьку інтенсивність конкуренції) можна зробити висновок щодо можливості роботи на ринку. Даний прилад повинен бути простим в експлуатації та зручним у використанні.

Після всіх аналізів визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності.

На основі аналізу конкуренції, проведеного в табл. 4.9, а також із урахуванням характеристик ідеї проекту (табл. 4.2), вимог споживачів до товару (табл. 4.5) та факторів маркетингового середовища (табл. № 4.6-4.7) визначаємо та обґрунтовуємо перелік факторів конкурентоспроможності. Аналіз оформлений за табл. 4.10.

Таблиця 4.7

Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Ціна	Ціна на товар являється одним із засобів ведення конкурентної боротьби, оскільки дана розробка є набагато дешевшою ніж закордонні аналоги.
2	Доступність	Дає можливість використовувати цей прилад навіть у віддалених місцях.
3	Мобільність	Зручний у використанні та компактний для транспортування.
4	Висока якість	Висока якість продукту яка дозволяє клієнту бути впевненим в своїх результатах досліджень
5.	Технічне обслуговування	Величина значення напрацювання на відмову вище середньої для даного класу обладнання

Згідно таблиці 4.10 можна дійти висновку, що дана конструкція має ряд важливих факторів, які гарантуватимуть її конкурентоспроможність. Найважливіші з них полягають у особливості конструкції, яка забезпечує легке та комфортне визначення об'єму та об'ємної витрати водяної пари.

Таблиця 4.8

№ п/ п	Фактор конкурентоспроможності	Бал и 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з Endress + Hauser						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Ціна	15			+				
2	Доступність	14				+			
3	Висока якість	17						+	
4	Технічна підтримка	16				+			
5.	Простота реалізації	15					+		

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (табл. 4.12) на основі виділених ринкових загроз та можливостей.

SWOT- аналіз демонструє нам всі можливості та ризики при виході на ринок нової компанії по виробництву вихрових витратомірів водяної пари. Також ми розглянули всі слабкі та сильні сторони можливої продукції. Сильними сторонами є висока точність, новітня дистанційна передача даних та висока якість приладу. Слабкі сторони – це недостатня кількість кваліфікованих кадрів, залежність від поставок та невідомість компанії на ринку. Можливостями є високий попит на точні прилади обліку водяної пари, зниження собівартості, впровадження нових технологій та розвиток вже існуючих, інвестування іноземних компаній, інвестування іноземних компаній. Загрози – збільшення конкуренції на ринку, розвиток новітніх технологій, відсутність поставок компонентів, висока конкуренція та зниження доходів потенційних споживачів, що може призвести до закриття підприємства.

Сильні сторони: висока точність, новітня дистанційна передача даних та якість прибору	Слабкі сторони: залежність від поставок, початківець на ринку
---	---

Можливості: надовго закріпитись на ринку товарів; конкурентоспроможність; інвестування іноземних компаній; модифікація існуючих приборів; збільшення обсягів продажів.	Загрози: збільшення конкуренції на ринку; розвиток новітніх технологій; зниження доходів потенційних споживачів; політичні та економічні ризики ведення бізнесу; .
--	--

На основі SWOT-аналізу розробляємо альтернативи ринкової поведінки (перелік заходів) для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок (див. Табл. 4.9, аналіз потенційних конкурентів).

Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів (табл. 4.13).

Таблиця 4.10

Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	2	3	4
1	Залучення споживачів — рекламувати товар і зацікавлювати кінцевих споживачів з метою збільшення попиту на товар.	Ймовірність висока, оскільки в разі успіху це збільшить попит на продукт	1 рік
2	Стратегія компенсації слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями	Ймовірність висока, тому що продукт стане більш конкурентно спроможним	9 місяців

1	2	3	4
3	Встановлення низької початкової ціни на товар з метою заохочення більшої кількості покупців та завоювання більшої частки ринку.	Ймовірність висока, тому що продукт має багато переваг і в поєднанні з низькою ціною він повинен створити великий попит серед покупців.	6 місяців

Базуючись на таблиці 4.13 можна зробити висновок: найбільш перспективна – це встановлення низької ціни на товар з метою заохочення більшої кількості покупців. Низька ціна – найпростіший спосіб досягнути великих продажів для нового продукту на ринку. Дана альтернатива має найкоротші терміни реалізації.

4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів.

Таблиця 4.11

Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів прийняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Електростанції	Так	60%	Висока	Наявні обмеження
2	Харчова промисловість	Так	55%	Висока	Наявні обмеження
3	Нафтогазова промисловість	Так	45%	Середня	Немає

За результатами аналізу попит є ймовірним від електростанцій, харчової промисловості та нафтогазової промисловості. Для усіх потенційних клієнтів основними критеріями є точність показань, якість та ціна приладу.

Для роботи в обраному сегменті ринку необхідно сформуванати базову стратегію розвитку.

Таблиця 4.12

Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
1	Прилад для визначення об'єму та об'ємної витрати водяної пари	Через виставки, конференції, публічні презентації	Ціна, точність показань та якість приладу	Лідерства по витратах

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 4.16).

Таблиця 4.13

Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
1	Ні	Так	Ні	Стратегія лідера

На основі вимог споживачів з обраного сегменту до постачальника і продукту, а також в залежності від стратегії розвитку (табл. 4.15) та стратегії конкурентної поведінки (табл. 4.16) розробляємо стратегію позиціонування (табл.

4.17) яка визначається у формування ринкової позиції, за яким споживачі мають ідентифікувати проект.

Таблиця 4.14.

Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
	Точність показань, якість приладу	Розробка більш точного приладу	Прилад з високою точністю	За показниками якості; За сферою застосування; За різновидом товару.

Результатом даного підрозділу є система рішень щодо ринкової поведінки компанії, вона визначає в якому напрямі буде працювати компанія на ринку.

4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Під час розроблення маркетингової програми першим кроком є розробка маркетингової концепції товару, який отримає споживач. У таблиці 4.18 підсумовуємо результати аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 4.15

Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Прилад для визначення об'єму та об'ємної витрати водяної пари	Дешевизна, точність, якість	Надійність і стабільність приладу в роботі, точність показань приладу

Надалі розробляється трирівнева маркетингова модель товару: уточнюється ідея продукту, його фізичні складові, особливості процесу його надання (табл. 4.19).

					МД П/4.1.22.000.00	Лист
						87
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

Таблиця 4.16

Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Пропонується новий прилад для визначення об'єму та об'ємної витрати водяної пари.		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	Вартість обслуговування	М	Е
	Строк безвідмовної праці	Нм	Тх
	Трудомісткість виготовлення	Нм	Тх
	Зручність управління	Нм	Тх
	Мобільність	Нм	Тх
	Пакування: розробляється відповідно до дійсних стандартів, а також проводиться перевірка на якість за допомогою гостей.		
	Марка: НТУУ «КПІ ім.. І.Сікорського»		
III. Товар із підкріпленням	До продажу можливість аналізу та усунення несправностей		
	Після продажу можливість розробки покращень та модернізації існуючий приладів		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: патентування методики та пристрою.			

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватися при встановленні ціни на потенційний товар, це передбачає аналіз цін товарів конкурентів, та доходів споживачів продукту (табл. 4.20).

Таблиця 4.17

Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	Витратоміри компанії «ЭМИС»	10000 грн	15000-20000грн	12000 грн
2	Вихрові витратоміри компанії «Dymetic»	25000 грн		19000 грн

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту (табл. 4.21).

					МД П/4 1.22.000.00	Лист
						88
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

Таблиця 4.18

Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Орієнтація на регулярні поставки	Встановлення контактів із споживачами та підтримка їх Формування попиту і стимулювання збуту Дослідницька робота зі збору маркетингової інформації Зменшення витрат в ході збуту продукції	Продаж у сфері харчової промисловості, нафтогазової та нафтохімічної промисловості	Через внутрішній ринок

Останньою складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (табл. 4.22).

Таблиця 4.19

Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікації, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	2	3	4	5	6
1	Клієнти пов'язані з харчовою та нафтогазовою	Виставки, конференції.	Доступність; Якість; Зручність використання; Мобільність; Точність	Заохотити покупців купувати даний продукт, продемонстр	Виставки, конференції,

1	2	3	4	5	6
	промислові стю та електростан ціями			увати переваги	

Результатом пункту 5 є ринкова (маркетингова) програма, що включає в себе концепції товару, збуту, просування та попередній аналіз можливостей ціноутворення, спирається на цінності та потреби потенційних клієнтів, конкурентні переваги ідеї, стан та динаміку ринкового середовища, в межах якого буде впроваджено проект, та відповідну обрану альтернативу ринкової поведінки.

4.6 Висновки до розділу 4

Провівши аналіз можна зробити висновок про високу можливість ринкової комерціалізації даного проекту у зв'язку з наявністю високого попиту споживачів на продукцію вітчизняного виробника (оскільки вона має меншу ціну ніж іноземні аналоги) та позитивною динамікою ринку. Обмеження для входу це мати усі дозвільні документи.

З огляду на конкурентну ситуацію (враховуючи низьку інтенсивність конкуренції) можна зробити висновок щодо можливості роботи на ринку. Даний прилад повинен бути простим в експлуатації, з високою точністю, зручним у використанні.

Конструкція запропонованого приладу має ряд важливих факторів, які гарантуватимуть конкурентоспроможність даного проекту. Найважливіші з них полягають у особливості конструкції, яка забезпечує точність показань та якість приладу, а також в ціні у порівнянні з аналогами з закордону.

За результатами аналізу потенційних груп споживачів попит є ймовірним від електростанцій, харчової промисловості та нафтогазової промисловості. Для усіх потенційних клієнтів основними критеріями є точність показань, якість та ціна приладу.

					МД П/4 1.22.000.00	Лист
						90
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

Для даного проекту обрано альтернативу (варіант) впровадження - встановлення низької ціни на новий продукт з метою залучення більшої кількості покупців і завоювання великої частки ринку.

Враховуючи високий попит споживачів, позитивну динаміку ринку, низьку інтенсивність конкуренції та якісні відмінності даного приладу від приладів конкурентів, вважаю доцільним подальше впровадження проекту.

					МД П/4 1.22.000.00	Лист
						91
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

ВИСНОВКИ

У данній магістерській дисертації було проведено оцінку впливу водяної пари на точність вимірювання об'єму та об'ємної витрати. Проаналізовані різні методи та засоби виміру об'єму та об'ємної витрати водяної пари, оцінено умови вимірювання та проведено аналіз проблем вимірювання. Зроблено моделювання потоків водяної пари на основі вихрового витратоміра. Створення стартап-проект ідеєю якого є представлення дослідження як продукту.

Під час аналізу проблем визначення об'єму та об'ємної витрати водяної пари було подано основні відомості про витрату пари, характеристики вимірюваного середовища, проаналізовані сучасні методи вимірювання витрати водяного пара та сформульовані основні вимоги до перетворювачів витрати.

Під час аналізу приладів вимірювання об'єму водяної пари на базі вихрових витратомірів було оцінено фактори впливу пари на метрологічні характеристики приладу, та наведено математичну модель вихрових перетворювачів витрат.

За результатами моделювання зроблено висновки, щодо впливу неоднорідності потоку водяної пари на похибку виміру витрати, та дано рекомендації щодо оптимального методу вимірювання об'ємної витрати водяної пари.

За результатами розробки стартап-проекту зроблені висновки, що подальше впровадження проекту є можливою. Але для цього повинно бути достатньо переваг над конкурентами, та вдала рекламна компанія.

					МД П/41.22.000.00	Лист
						92
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Pisarets A. Optimization of turbine type flow rate transducer with hydrodynamic balancing of sensitive element / A. Pisarets, I. Korobko // Вісник НТУУ «КПІ» Серія приладобудування. – 2017. – Вип. 54(2). – С. 65 – 71.
2. Писарець А. В. Вимірювання кількості теплової енергії із застосуванням ультразвукового методу / А. В. Писарець, С. О. Поліщук // Вісник НТУУ «КПІ» Серія приладобудування. – 2017. – Вип. 53(1). – С. 56 – 61.
3. Коробко І.В. Дослідження плунжерного витратоміра з лінійними декодером у складі одоризаційної установки./ І.В.Коробко, В.В.Кротеви́ч// Метрологія і прилади. 2017. №4 (66) – С.17-20.
4. Патент № 113091 Україна, МПК(2016) G01F1/05, G01F1/34, G01F1/66, G01F 15/04. Комплекс вимірювання витрати газу з потрійною системою реєстрації і формувачем потоку /І.В.Коробко , О.О.Драчук, В.А.Коваленко, А.М.Рак./ Заявл. 23.01.2015; опубл. 12.12.2016, Бюл. № 23.
5. Патент № 113092 Україна, МПК(2016) G01F1/05, G01F1/34, G01F1/66, G01F 15/04. Комплекс вимірювання витрати газу з потрійною системою реєстрації / І.В.Коробко, Я.М.Власюк, О.О.Драчук, В.А.Коваленко/ Заявл. 23.01.2015; опубл. 12.12.2016, Бюл. № 23
6. Патент № 113648 Україна, МПК(2016) G01F 25/00. Еталонна дзвонова дискретно- динамічна установка для точного відтворення та вимірювання об'єму і об'ємної витрати газу /І.В.Коробко, А.М.Рак., І.В.Щупак, Ю.В.Кузьменко./ /Заявл. 09.12.2014; опубл. 27.02.2017, Бюл. № 4.
7. Gryshanova I Increasing of accuracy of multipath ultrasonic flow meters by intelligent correction// I.Gryshanova, I.Korobko , P.Pogrebniy// Measurement Automation Monitoring. Dec.2016, no 12, vol. 62. pp.411-416.
8. Коробко І. В. Оцінка якості визначення об'єму та об'ємної витрати води / І. В. Коробко, Є. В. Писарець, А. В. Писарець // Вісник НТУУ «КПІ» Серія приладобудування. – 2016. – Вип. 51(1). – С. 89 – 94.

					МД П/4 1.22.000.00	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		93

9. Коробко І.В. Врахування характеристик робочого середовища за застосування турбінних лічильників природного газу/І.В.Коробко,А.М.Рак, В.В,Кротевіч, І.В.Щупак / Метрологія і прилади. 2016. №3 (59) – С.50-57.

10. Коробко І.В. Науково-навчальний лабораторний комплекс вимірювання об'єму та об'ємної витрати газу/ І.В.Коробко, В.П.Лісовець, Д.М.Гречко/ Нафтогазова галузь України. 2016 .№6 – С.40-42

11. Коробко І.В. Інформаційне забезпечення оптимізації лічильників газу турбінного класу/ І.В.Коробко, Я.І.Могирьов.,В.В. Кротевіч/ Нафтогазова галузь України. 2016 .№3 – С.26-29.

12. Коробко І.В. Програмний комплекс розрахунків і дослідження турбінних вимірювальних перетворювачів витрати рідини та газу// І.В.Коробко, Я.І.Могирьов.,В.В. Кротевіч/ Вісн. НТУУ "КПІ". Сер. Машинобудування. – 2015, вип. 3(75), с.72...79

13. Korobko I. Development of national standards volume and volumetric flowrate of natural gas in Ukraine/ I/Korobko, A.Rak/ Вісн. НТУУ "КПІ". Сер. Машинобудування. – 2015, вип. 2(74), с.5...12

14. Патент № 108935 Україна, МПК(2015) G01F 1/28(2006.01). Витратомір з розширеним діапазоном вимірювання /І.В.Коробко,О.О.Драчук, В.А.Коваленко/ Заявл. 04.12.2013; опубл. 25.06.2015, Бюл. № 12.

15. Патент на корисну модель №99876 У Україна, МПК(2015) G01F 1/00 Комплекс вимірювання витрати природного газу з формувачем потоку./ І.В.Коробко, /І.В.Коробко,О.О.Драчук, В.А.Коваленко/ заявл. 23.01.2015; опубл. 25.06.2015, Бюл. № 12.

16. Патент на корисну модель № 99877 У Україна, МПК(2015) G01F 1/00. Комплекс вимірювання витрати природного газу/ І.В.Коробко, Я.М.Власюк.,О.О. Драчук,, В.А.Коваленко В. А. Заявл. 23.01.2015; опубл. 25.06.2015, Бюл. № 12.

17. Патент на корисну модель № 99751U; Україна. МПК(2015) G01F 25/00. Пристрій для забезпечення лінійності опускання дзвонового мірника /А.М.

					МД П/4 1.22.000.00	Лист
						94
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

Рак, І.В. Щупак, І.В. Коробко., О.О. Драчук, В.А. Коваленко/ Заявл. 09.12.2014; опубл. 25.06.2015, Бюл. № 12.

18. Коробко І. В. Дослідження впливу форми чутливого елементу на динамічні характеристики турбінних перетворювачів витрати / І. В. Коробко, А. В. Писарець, І. В. Фісунов // Вісник НТУУ "КПІ". Сер. Приладобудування. – 2015. – №49 (1). С.14 – 20.

19. Коробко І.В. Стендові дослідження впливу асиметрії потоку на метрологічні характеристики гідродинамічних вимірювальних перетворювачів витрати/І.В.Коробко/Нафтова галузь України. Техніка. 2015.№3 – С.36-38

20. Гришанова І.А. Визначення топологій вимірювальних хорд ультразвукових перетворювачів витрати рідини//І.А.Гришанова, І.В.Коробко, П.В.Погребной/ Науково-технічний журнал "Методи та прилади контролю якості" – 2015. - №1(34).- С.66-77

21. Коробко І.В. Дослідження стабільності тиску в установці дзвонового типу з керованим рухом мірника/ І.В.Коробко., А.М.Рак/ Вісник НТУУ "КПІ". Сер. Машинобудування. – 2015. – Вип. 1(73). – С. 100–106.,

22. Коробко І. В. Вплив гаусової кривизни поверхні чутливого елементу і гідродинамічних характеристик потоку на метрологічні показники перетворювачів витрати / І. В. Коробко, А. В. Писарець // Наукові нотатки. Міжвузівський збірник (за галузями знань "Машинобудування та металообробка", "Інженерна механіка", "Металургія та матеріалознавство"). – 2015. – №48. – С.116 – 120.

23. Коробко І.В. Приладовий комплекс вимірювання витрати та кількості природного газу на підґрунті різних фізичних методів/І.В. Коробко, О.О.Драчук, В.А.Коваленко/ Науково-технічний журнал "Методи та прилади контролю якості" – 2014. - №2(33).- С.66-77.

24. Коробко І.В. Визначення ступеня неоднорідності потоку рідини в технологічних мережах/І.В.Коробко/ Вісник НТУУ "КПІ". Сер. Приладобудування. – 2014. – Вип. 48(2). – С. 93–101.

					МД П/41.22.000.00	Лист
						95
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

25. Коробко І.В. Дослідження дії асиметричності потоку рідини, викликаной місцевими гідравлічними опорами у вигляді двох колін, на точність перетворювачів витрати ультразвукового класу/І.В.Коробко, А.М.Рак/ Вісник НТУУ"КПІ". Сер. Машинобудування. – 2014. – Вип. 3(72). – С. 72–80.

26. Коробко И.В. Определение пространственной неоднородности потоков жидкостей и газов на основании оценки вероятности несовпадения кривых распределения скоростей в поперечных сечениях/И.В.Коробко/ Вісник НТУУ"КПІ". Сер. Машинобудування. – 2014. – Вип. 2(71). – С. 95–102

27. Коробко И.В. Аналитическое описание уравнивающей силы турбинного преобразователя расхода/И.В.Коробко, А.В.Писарец/ Вісник НТУУ"КПІ". Сер. Машинобудування. – 2014. – Вип. 1(70). – С. 166–170.

28. Коробко І.В. Оцінювання впливу неоднорідності рідиннофазних потоків на точність ультразвукових перетворювачів витрати/І.В.Коробко/ Перспективні технології та прилади// м. Луцьк. листопад 2014р.- Луцьк: Луцький НТУ, 2014.С.70-75

29. Коробко І.В. Застосування методів чисельного моделювання до проектування вимірювальних перетворювачів витрати/ І.В.Коробко, В.А.Коваленко/ Енергоефективність в будівництві та архітектурі. Науково технічний збірник. Випуск 6. К.: КНУБА, 2014р.-С.128-133.

30. Патент на корисну модель № 86630 У, Україна, МПК(2013) G 01 F1/10. Витратомір з тілом обтікання / І.В.Коробко, В.А.Коваленко, А.М.Рак/ Заявл.05.06.2013. – Опубл. 10.01.2014. – Бюл.№1.

31. Gryshanova I CFD modeling of turbine flowmeters. / I. Gryshanova, I Korobko// Innovationson discrete productions/ Gryshanova I, I.Korobko/ Innovationson discrete productions.–2014. – №1. – Р. 6 – 8

32. Коробко И.В. Оценка влияния гидравлических местных сопротивлений на точность измерения расхода ультразвуковыми

преобразователями//И.В.Коробко, А.Н.Рак/ Трение и смазка в машинах и механизмах. 2014. № 1. С.84 – 89.

33. Коробко И.В. Исследование погрешности турбинных преобразователей расхода/И.В.Коробко, А.В.Писарец/ FIZICĂ ȘI TEHNICĂ:procese, modele, experimente Revistă științifică a profilului de cercetare. Universitatea de Stat „Alecu Russo” din Bălți. – 2013.- №1.-С.41-48

34. Коробко И.В. Особенности оптимизации формы чувствительных элементов вихревых измерительных преобразователей расхода жидкофазной среды/И.В.КоробкоЮ В.А.Коваленко/ Вестн. Гомельского Государственного технического университета им. П. О. Сухого.– 2013.- №4(55).– С.36–42.

35. Коробко І.В. Дослідження впливу неоднорідності потоку на роботу ультразвукових вимірювальних перетворювачів витрати/І.В.Коробко, Я.В.Волинська/ Метрологія та прилади. – 2013. – №5. – С.67 – 70

36. Коробко І.В. Оптимізація вимірювальних перетворювачів витрати рідини гідродинамічного типу/І.В.Коробко/ Вісник НТУУ“КПІ”. Сер. Приладобудування. – 2013. – Вип. 46. – С. 91–96

37. Коробко І.В. Оптимізація просторової форми тіл обтікання чутливих елементів гідродинамічних вимірювачів витрати рідини/І.В.Коробко/ Вестн. НТУУ“КПИ”. Сер. Машиностроение. 2013. Вып. 68. С. 173–180

38. Турбінні перетворювачі витрати енергоносіїв з гідродинамічним врівноважуванням чутливого елементу. Монографія / А. В. Писарець, І. В. Коробко. – К.: “Корнійчук”, 2013. – 159 с.

					МД П/4 1.22.000.00	Лист
						97
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		